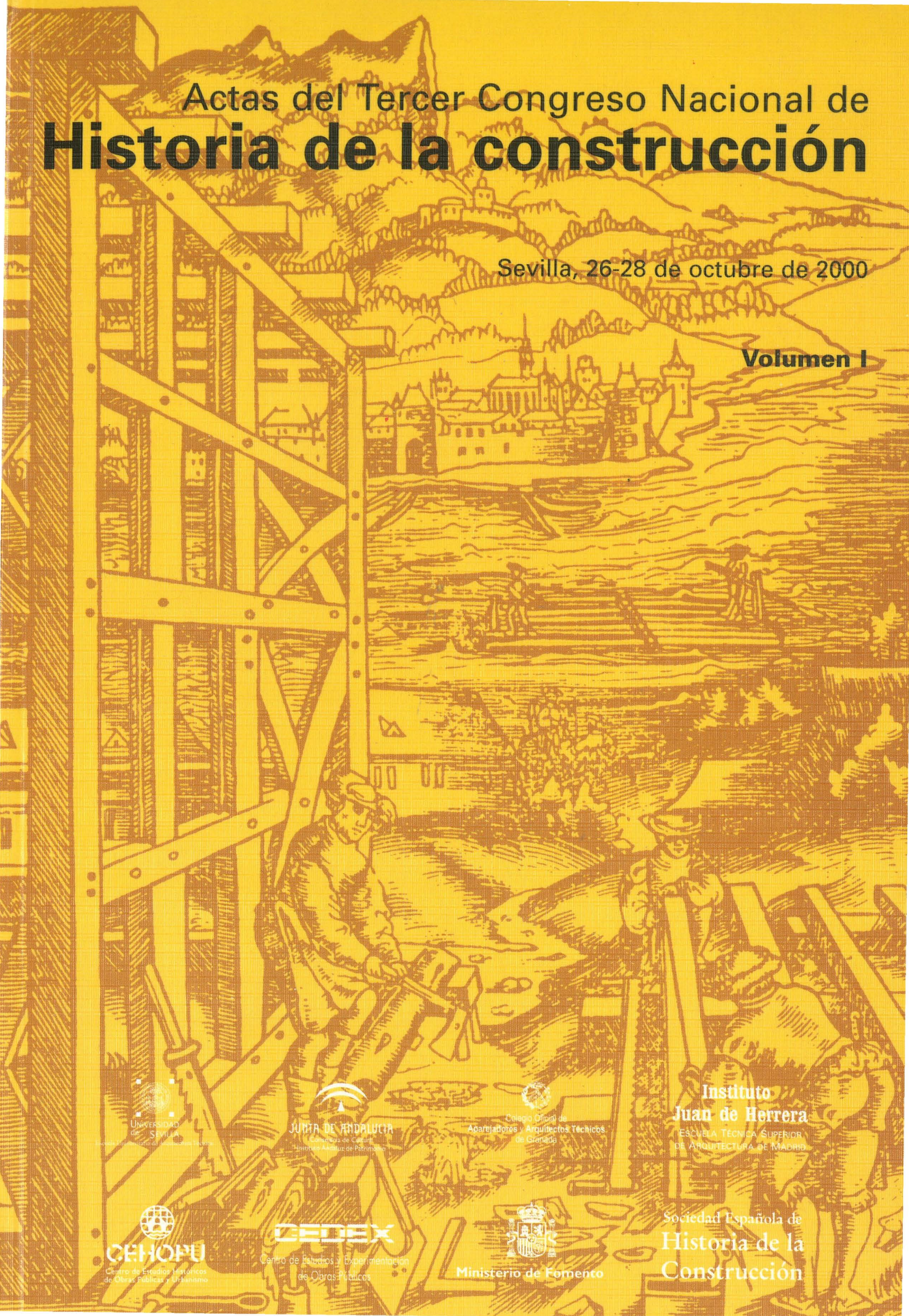


Actas del Tercer Congreso Nacional de
Historia de la construcción
Sevilla, 26-28 de octubre de 2000
Volumen I
Universidad de Sevilla
Junta de Andalucía
Instituto Andaluz de Patrimonio
Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos
de Granada
Instituto
Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid
CEHOPU
Centro de Estudios Históricos
de Obras Públicas y Urbanismo
CEDEX
Centro de Estudios y Experimentación
de Obras Públicas
Ministerio de Fomento
Sociedad Española de
Historia de la
Construcción

TEXTOS SOBRE TEORÍA E HISTORIA DE LAS CONSTRUCCIONES
Colección dirigida por Santiago Huerta Fernández

A. Choisy. **El arte de construir en Roma.**

A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio.**.

A. Choisy. **Historia de la arquitectura.** (en preparación)

J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.**

J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica.**

J. Heyman. **La ciencia de las estructuras.**

S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas.** (en preparación)

J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII.** (en preparación)

H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción.** (en preparación)

E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval.**

Actas del Tercer Congreso Nacional de

Historia de la construcción

TERCER CONGRESO NACIONAL DE HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN
Organizado por el Instituto Juan de Herrera, las Escuelas Universitaria de Arquitectura Técnica y Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla y el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo. Sevilla, 26 al 28 de octubre de 2000.

Comité de Honor

Miguel Florencio Lora. Excmo. y Magfco. Rector de la Universidad de Sevilla
Ricardo Aroca Hernández-Ros. Presidente de la Sociedad Española de Historia de la Construcción
Félix Escrig Pallarés. Director de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla
Antonio Ramírez de Arellano Agudo. Director de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Sevilla
Ricardo López Perona. Decano del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Demarcación de Andalucía Occidental)
Jaime Raynaud Soto. Presidente del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla

Dirección

Amparo Graciani García

Secretaría General

José María Calama Rodríguez
Vicente Flores Alés
Miguel Ángel Tabales Rodríguez
Eva María Valenzuela Montalvo

Comité Organizador

María Jesús Albarreal Núñez
Cecilia Cañas Palop
Vanessa González Fernández
Santiago Huerta Fernández
Rafael Lucas Ruiz
Juan Manuel Macías Bernal
David Marín García
Antonio Melo Montero
Aurora Ortega Almagro
Beatriz Piñar Hafner
Juan Carlos Pérez Pedraza
Mercedes Ponce Ortiz de Insagurbe

Comité Científico

Antonio J. Albardonedo Freire
Miguel Arenillas Parra
Ricardo Aroca Hernández-Ros
Juan Luis Barón Cano
Antonio de las Casas Gómez
José María Calama Rodríguez
Ángel Luis Candelas Gutiérrez
Antonio Castro Villalba
Félix Escrig Pallarés
Santiago Huerta Fernández
Teodoro Falcón Márquez
José Fernández Salas
Rafael García Diéguez
Nicolás García Tapia
José Luis González Moreno-Navarro
Amparo Graciani García
Carlos Nardiz Ortiz
Pedro Navascués Palacio
Enrique Nuere Matauco
Francisco Ortega Andrade
María Victoria del Pozo González
Enrique Rabasa Díaz
Jaume Rosell Colomina
Miguel Ángel Tabales Rodríguez
Salvador Tarragó Cid
José Antonio Solís Burgos
Aniceto Zaragoza Ramírez

Actas del Tercer Congreso Nacional de

Historia de la construcción

Sevilla, 26 a 28 de octubre de 2000

edición a cargo de:
Amparo Graciani García
Santiago Huerta Fernández
Enrique Rabasa Díaz
Miguel Ángel Tabales Rodríguez

prólogo de:
Amparo Graciani García

Volumen I















Sociedad Española de
Historia de la
Construcción

NIPO: 163-00-018-X
ISBN: 84-95365-54-5 (Obra completa)
ISBN: 84-95365-55-3 (Vol. I)
Depósito Legal: M. 40.566-2000
Cubierta: Hieronimus Rodler. *Perspectiva.* Frankfurt: 1546
Fotocomposición e impresión:
EFCA, S. A. Parque Industrial «Las Monjas»
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

Índice

SEGUNDO VOLUMEN

ADDENDA

Prólogo

La Historia de la Construcción se nos ofrece como un campo de investigación aún prácticamente virgen, en el que profesionales de formación diversa, y sin duda alguna complementaria, tienen ante sí el tan atractivo reto de afianzar las líneas de trabajo que, en especial desde el siglo XIX, con el nacimiento de esta disciplina como Ciencia, se han ido abriendo, y de analizar las construcciones del pasado, de un modo distinto al del Historiador de la Arquitectura, centrado en cuestiones tecnológicas y en las circunstancias de diversa índole (social, económica, material, etc.) que influyeron en el desarrollo del proceso.

Puede afirmarse que, hasta la fecha, en nuestro país el nacimiento de esta inquietud por la Historia de la Construcción como materia ciertamente diferenciada de la Historia de la Arquitectura ha sido lento y que es ahora cuando se despierta el interés de entidades profesionales y académicas muy diferentes que se sienten participes del impulso que va cobrando esta disciplina. Aunque falta aún mucho camino por recorrer, la actuación de la Sociedad Española de Historia de la Construcción ha sido, en este sentido, determinante, desde su creación a raíz de la celebración en Madrid del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción en 1996, convocado desde el Instituto Juan de Herrera, por Ricardo Aroca y Santiago Huerta, y desde el CEHOPU, por Antonio de las Casas, personas a las que debemos el máximo reconocimiento.

El éxito de la convocatoria de la tercera edición del Congreso Nacional de Historia de la Construcción, manifiesto no sólo en el número de trabajos propuestos y finalmente presentados sino también en la participación de diferentes colectivos y entidades públicas y privadas, viene a corroborar esta, en ningún caso, ligera afirmación. Unas ciento treinta comunicaciones evidencian cómo profesionales de campos muy diversos se sienten copartícipes de esta tarea, al igual que aquellos quienes, con su asistencia, encontraron una vía de actualizar sus conocimientos respecto las últimas novedades de la investigación.

Varios han sido los objetivos que la organización de este Tercer Congreso ha querido alcanzar. El primero de ellos, dedicar parte del Congreso a uno los temas sin duda más complejos y atractivos de la Historia de la Construcción, la construcción de bóvedas, para lo cual, por primera vez se ha establecido una sección específica, paralelamente a una sección general, que ha abarcado una amplia diversidad de aspectos: fuentes de información, sociología de la construcción, representación gráfica y control formal, medios auxiliares y equipos de obra, materiales de construcción (tipos y técnicas), elementos constructivos (cimentaciones, muros y fábricas, arcos y cubiertas), revestimientos (técnicas y soportes) y tipologías constructivas (construcción doméstica, religiosa, palaciega, fortificada, hidráulica, construcción de puentes,...).

Es por ello que las conferencias que se dictarán durante el desarrollo del Congreso estarán dedicadas a *Las bóvedas*; la de nuestro maestro D. Rafael Manzano Martos sobre el origen de las bóvedas romanas y las de José Luis González Moreno-Navarro y Ángel Luis Candelas Gutiérrez sobre el análisis de los métodos conocidos a través de los recientes procesos de restauración acometidos sobre obras tan distintas como la iglesia de la Colonia Güell o la cúpula del Salón de Embajadores del Real Alcázar de Sevilla. Con estas conferencias, se ha pretendido abarcar tres aspectos. De un lado, un tema global y fundamental, no sólo por sus novedades sino por la perduración de los métodos empleados en una amplia geografía, como es el de las bóvedas romanas. En segundo lugar, una obra emblemática de uno de nuestros arquitectos nacionales más representativos de toda la Historia, Antonio Gaudí y, finalmente, un ejemplo de un estilo considerado netamente español como es el mudéjar, en una de las construcciones más significativas de la Ciudad de Sevilla, sede de este Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, como homenaje a ella y a la disponibilidad que el Patronato del Real Alcázar ha mostrado para con la organización del evento. Ámbitos, materiales y técnicas muy diversos en una muestra que esperamos sea del agrado de todos en un escenario que sin duda también lo será, la iglesia del antiguo Monasterio de Santa María de las Cuevas, en la Cartuja de Sevilla, gentilmente cedida para la ocasión por el Centro Andaluz de Arte Contemporáneo de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

El segundo de los objetivos de esta tercera edición ha sido ampliar el campo de difusión de esta convocatoria, obteniendo como resultado una amplia participación de investigadores procedentes de colectivos muy diversos y de gran parte de la geografía nacional, incluso con representantes de Portugal e Italia —en mayor número que en ediciones anteriores—; la acogida de la iniciativa nos hace reflexionar sobre la necesidad de encauzar la difusión de los proyectos de futuro hacia otros países, para lo cual la idea de celebrar en Madrid el I Congreso Internacional de Historia de la Construcción se convierte en una ocasión inmejorable. Una difusión que no sólo ha generado la participación de comunicantes y asistentes sino la colaboración de entidades públicas de diferentes puntos de España, que han encontrado en este Congreso un vehículo para plasmar las actividades que vienen desarrollando en pro de la Historia de la Construcción, sumando sus propias iniciativas a las de la organización del Congreso.

Así, hay que agradecer al Servicio de Publicaciones de la Diputación de Badajoz, la ocasión que se nos brinda de presentar durante el evento la edición facsimilar del *Tratado de Construcción Civil* de D. Florencio Ger y Lóbez (1897), en el que sin duda muchos de los interesados en la materia encontraremos una inagotable cantera para nuestras investigaciones; al Departamento de Obras Hidráulicas y Urbanismo de la Diputación Foral de Guipúzcoa, la propuesta de exponer los paneles correspondientes al proceso constructivo de la cúpula de Loyola; al Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada por su participación en la edición de estas actas, y por supuesto a todas las entidades locales no citadas que han colaborado de una forma u otra en los preparativos y el desarrollo del Congreso con la Sociedad Nacional de Historia de la Construcción y las Escuelas Universitaria de Arquitectura Técnica y Superior de Arquitectura de Sevilla y diferentes departamentos universitarios de ambas; el Vicerrectorado de Extensión Cultural y Relaciones Internacionales de la Universidad de Sevilla y el de Tercer Ciclo y Enseñanzas Propias, al que debemos agradecer la disponibilidad del Pabellón de México en la Exposición Iberoamericana de Sevilla, sede del Vicerrectorado, para la lectura de las comunicaciones incluidas en la presente publicación; al Colegio Profesional de Aparejadores y Arquitectos Técnicos y a la Fundación Aparejadores de Sevilla, y al de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Demarcación de Andalucía Occidental. Y en especial, por su activa colaboración, al Instittuto Andaluz de Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía, también participante en esta publicación.

Diferentes colectivos de la Ciudad de Sevilla han contribuido al desarrollo del Congreso que Sevilla acoge en tres sedes diferentes y que permitirán al congresista contemplar la diversidad de nuestra ciudad: las Escuelas Técnica Superior de Arquitectura y Universitaria de Arquitectura Técnica, el pabellón de México de la Exposición Iberoamericana de Sevilla de la Avenida de la Palmera y la iglesia del Monasterio de Santa María de las Cuevas, en La Cartuja de Sevilla.

El lector de la presente publicación verá reflejada la heterogeneidad y al tiempo coherencia de los aspectos analizados en el desarrollo del Congreso a través de las comunicaciones que en él serán presentadas y que aquí se recopilan siguiendo un orden alfabético que facilitará su localización sin perjuicio de las secciones y los bloques temáticos en que se ha estructurado el Congreso y que podrá seguirse en el índice de sesiones. De nuevo, agradecer a los autores su participación y el esfuerzo realizado para la publicación de estas actas. Y a todos el deseo de una útil y gratificante lectura.

Amparo Graciani García Directora del Congreso.

Programa

SECCIÓN GENERAL

Sesión A12: Fuentes de información escritas

Presidente: M. A. Tabales Rodríguez

A. Graciani García. Hacia el nacimiento de la Historia de la Construcción. Origen y devenir de una Ciencia.
J. S. Palacios Ontalva. Los Libros de Visita de la Orden de Santiago: fuente para una Historia de la arquitectura militar.
M. Ponce Ortiz de Insagurbe. Las fuentes documentales para el estudio de la historia de la construcción militar en el siglo XVIII y XIX.
M. A. de Benito García. Fondos documentales para el estudio de la construcción en el Archivo General de la Marina Álvaro de Bazán.
J. Ortiz Sanz; T. Rego Sanmartín; I. G. Cañas Guerrero. El catastro de la Ley 41/1964 como fuente documental en el estudio de las construcciones rurales tradicionales contemporáneas.
A. Graciani García. Aportaciones de Herodoto de Halicarnaso al conocimiento de la construcción en la Antigüedad.
R. Crescente. Las instrucciones técnicas de los tratadistas del siglo XIX para la construcción de los lugares teatrales.

Sesión B12: Fuentes de información arqueológicas. Sociología de la construcción (I): economía de la construcción y condicionantes urbanísticos

Presidente: A. J. Albardonedo Freire

S. Arbaiza Blanco-Soler; Mª M. González Martínez; Mª V. del Pozo González. Análisis constructivo de las ruinas romanas de Mérida realizado por Fernando Rodríguez (1794-1797).
Mª M. González Martínez, M. Sierra Llamas, S. Arbaiza Blanco-Soler. Análisis constructivo de la Iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias) basado en el proyecto de restauración por Javier Aguirre en 1886.
L. Caballero Zoreda. Posibilidades de la Arqueología de la Arquitectura. A propósito de la arquitectura abovedada altomedieval.

Sesión B22: Sociología de la construcción (II): oficios, normativa y legislación, y fundamentos y consecuencias sociopolíticas de la construcción

Presidente: Silvia Arbaiza Blanco-Soler

M. Porcel Bedmar. Regulación del oficio constructivo en Barcelona a finales de la Edad Media.

J. Fernández Salas. El oficio de la construcción durante el Renacimiento compostelano.
R. Ripoll Masferrer. Los exámenes de albañiles en la ciudad de Gerona (1761-1830).
J.A. Sánchez García. Los maestros de obras en Galicia durante el siglo XIX. Actividad y conflictos legales.
A. Moraza Barea. La presencia de maestros tejeros labortanos en Gipuzkoa durante la Edad Moderna.
P. Gómez de Terreros Guardiola. Mediciones y presupuestos del siglo XVIII: la solería de la Catedral de Sevilla.
R. Ripoll Masferrer. Las condiciones de contratación y los precios unitarios en las actas notariales del siglo XVIII: el Hospicio de Gerona de 1776.
A. J. Albardonedo Freire. Fuentes legales sobre construcción: las *Ordenanças* de Sevilla (1527).
P. Lavastre. Maniobras y construcción. Las licencias de obras: Valladolid 1880-1895.
E. de Ortueta Hilberath. Modelo de casillas de peones camineros.
Mª T. Barbado Pedrera. La visión de una arquitectura en crisis: Córdoba en la segunda mitad del siglo XVIII. La pulsión entre la economía real y las necesidades constructivas.
Mª D. Campos Sánchez-Bordona. El espacio residencial privado y su proyección en la ciudad del Antiguo Régimen. Las casas del cabildo catedralicio leonés.
P. Rodríguez-Escudero y J. Velilla Iriondo. Ricardo Bastida: Proyecto de Construcción de Casas Baratas y Económicas.

Sesión B32: Representación gráfica y control formal

Presidente: J. L. Barón Cano

C. Palestini. Las investigaciones sobre las proporciones para el control formal de la Arquitectura
F. Pinto Puerto. Transformaciones. De la línea a la superficie.
A. Jiménez Martín. Un dibujo de Petra (Jordania).
J. A. Ruiz de la Rosa y J. C. Rodríguez Estévez. Monteas en las azoteas de la Catedral de Sevilla. Análisis de los testimonios gráficos de su construcción.

Sesión B42: Sociología de la Construcción (III): fundamentos teóricos y científicos de la construcción

Presidente: Mercedes Ponce Ortiz de Insagurbe

A. Becchi. Architecture et art de bâtir dans l´*Encyclopédie* (1751-1780).
M. Corradi. Ars o τεχνη: consideración critiche sulle tecniche di consolidamento tradizionali dell´architettura storica e monumentale.
J. Girón Sierra. De las medias a las progresiones. Los cambios en los sistemas de proporción inducidos por la Revolución Científica.
J.L. Fernández Cabo. Los criterios de diseño de estructura entre los siglos XIX y XX. Herramientas lógicas y analógicas.

Sesión A13: Medios auxiliares y equipos de obra

Presidente: Eva María Valenzuela Montalvo

G. de Ignacio Vicens; Mª A. Flórez de la Colina y J.L.J. Pérez Martín. Medios de elevación de materiales en la construcción medieval.
J. Lorda Iñarra y A. Martínez Rodríguez. Las grúas de Juan de Herrera.
J.Mª Calama Rodríguez y Amparo Graciani García. Sistemas de encimbrados y apeos en la Restauración Monumental española durante el siglo XIX.
V. A. Galvañ Llopis, Mª.J. Ferrer Graciá. Extracción de marés. Utillaje y procedimiento.

Sesión B13: Elementos de construcción (I): cimentaciones, muros y fábricas

Presidente: José María Calama Rodríguez

A. Jaramillo Morilla, J.L. de Justo Alpañés, R. Romero Hernández. Cimentaciones y construcciones en arcillas expansivas: de la Itálica romana al PP-1 de Santiponce (Sevilla).

J. Barrios Sevilla, Á. Barrios Padura, J. Polo Velasco, R. Rodríguez García, C. Rivera Gómez. Estudio de la cimentación del Hospital de las Cinco Llagas de Sevilla.

M. A. Tabales Rodríguez. Algunas reflexiones sobre las fábricas y cimentaciones sevillanas en el período islámico.

A. Jiménez Martín. La primera cantería andalusí.

A. Jaramillo Morilla, C. Rodríguez Liñán, J.L. de Justo Alpañés; R. Romero Hernández y F. Pérez Gálvez. Características de los muros antiguos en Sevilla.

V. R. Pérez Sánchez; J. Ferri Cortés; J. C. Pérez Sánchez; J. A. López Davó; L. Rodríguez Valenzuela; A. Jiménez Delgado y J.A. García Aznar. Fábricas de tierra en la provincia de Alicante.

L. de Villanueva Domínguez; S. Mora Alonso-Moñuyerro; Mª V. Cámara Eguinoa, R. Bustamante Montoro y C. Barahora Rodríguez. Análisis constructivo de las fábricas del Cristo de la Luz (Toledo).

Sesión B23: Elementos de construcción (II): arcos y cubiertas

María Victoria del Pozo González

A. Sinopoli. Stabilità si strutture ad arco e regole costruttive, nell XVIº e XVIIº secolo.

F. Foce. Il contributo dell`École d Ártillerie et du Génie di Metz alla teoria delle volte in muratura.

C. Cañas Palop. Las técnicas de ejecución de la armadura mudéjar de la antecapilla del Palacio Alto del Real Alcázar de Sevilla.

I. Sánchez Gómez y S. Huerta Fernández. Las armaduras de cubierta en los tratados franceses del siglo XVII.

E. Rodríguez Romero. Sistemas de entramado de madera de los siglos XVIII y XIX en el Sur de Galicia.

L. Palaia Pérez. Las armaduras de madera para cubiertas en la Comunidad Valenciana.

Jiménez Delgado; L. Rodríguez Valenzuela; J.A. García Aznar; J.A. López Davó, J. Ferri Cortés, V. Raúl Pérez Sánchez y J.C. Pérez Sánchez. La recuperación del alero mediterráneo tradicional.

Sesión B33: Materiales de construcción y revestimientos

Presidente: Antonio Melo Montero

H. Martín Nieva. La introducción del hormigón armado en España: las primeras patentes registradas en este país.

J. Anaya Díaz. Hormigón, estructura y forma de una nueva técnica en la arquitectura española de la primera mitad del siglo XX.

A. Paricio Casademunt. El GATCPAC, impulsor en el uso de los nuevos materiales.

Mª S. Camino Olea; R.J. García Barrero y A. Llorente Álvarez. El proceso de fabricación de productos cerámicos a principios de siglo en Tierra de Campos. La producción de cerámica cocida preindustrial y el paso a la industrialización.

Mª. D. Robador González. Revestimientos de la hacienda de olivar *Los Molinos de Maestre* (Dos Hermanas, Sevilla).

A. Librero Pajuelo. El uso de la cerámica en la Exposición Iberoamericana de Sevilla de 1929.

Sesión B43: Tipologías constructivas: construcción religiosa

Presidente: Álvaro Recio Mir

F. Hernández Alfranca; Mª V. del Pozo González; I. Anta Fernández. Análisis de los procesos constructivos del Palacio-Santuario de Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz).

M.A. Chamorro Trenado. La fortificación de la iglesia de San Félix de Gerona en el siglo XIV.

R. Gutiérrez-Solana Perea y H. de Diego Alegre. El proceso constructivo de la iglesia parroquial de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros (Burgos).

S. D´Avino. La contribución de las técnicas diagnósticas en el conocimiento de los elementos constructivos de la iglesia agustina de Cascia.

P.J. Pomar Rodil. La pervivencia de la técnica medieval en la arquitectura andaluza: la Catedral de Jerez de la Frontera (Cádiz), una construcción "gótica" del pleno Barroco.

Sesión A14: Tipologías constructivas: construcción doméstica

Presidente: Vicente Flores Alés

A. Serra Clota. Evolución de la construcción en el hábitat del poblamiento rural agrupado en Cataluña del siglo XI al XIII (sagreras, centros fortificados,...).

R. Marchena Hidalgo. Fuentes para el estudio de la casa sevillana en la Edad Moderna.

R. Aroca Hernández-Ros y E. González Redondo. Tipificación de las soluciones constructivas de la edificación doméstica madrileña de los siglos XVII y XIX.

J. Ortiz Sanz; I.G. Cañas Guerrero y J. García Navarro. Tipología estructural de los corrales tradicionales de barro en el páramo de León.

M.A. Sorroche Cuerva. Tipologías constructivas en el Noreste de la provincia de Granada. Materiales de construcción. Tipos y técnicas en la arquitectura tradicional.

J.C. Pérez Sánchez; J. Ferri Cortés; V. Raúl Pérez Sánchez; J. López Davó; L. Rodríguez Valenzuela; J. A. García Aznar y A. Jiménez Delgado. La vivienda rural en el Campo de Elche.

R. Palloni. La casa rural en la región de las Marcas (Italia).

S. García Álvarez. La construcción de la vivienda tradicional en Paraguay. La técnica del estaqueo.

E. Morales Méndez. El torreón doméstico sevillano.

Sesión B14: Tipologías constructivas: puentes

Presidente: Antonio de las Casas Gómez

M. Durán Fuentes. Aportación al estudio de los puentes romanos peninsulares: análisis de la capacidad de desagüe de varios puentes de *Gallaecia*.

M. Morales Segura; P. Núñez Martí; E. Pérez Velasco y C. Segura Graiño. Los puentes de Madrid en la Edad Media. Construcción y reconstrucciones.

S. Huerta Fernández. Estática y geometría: el proyecto de puentes de fábrica en los siglos XV al XVII.

F.A. Ramírez Chasco. La técnica de cimentación de puentes hasta el siglo XVIII.

J.M. Ávila Jalvo. El puente de Triana en Sevilla y su tiempo.

F. J. Rubiato Lacambra. Los puentes de La Algaba y Brenes (Sevilla), ejemplos de problemas constructivos.

J. Ortiz Sanz; T. Rego Sanmartín e I.G. Cañas Guerrero. Tipología constructiva de los pontones tradicionales contemporáneos en las vías rurales gallegas. El caso particular de la Sierra de Ancares.

Sesión B24. Tipologías constructivas: construcción subterránea, defensiva y construcciones singulares

Presidente: Miguel Ángel Tabales Rodríguez

F. Vela Cossío y L. Maldonado Ramos. Estructuras subterráneas en el recinto medieval de la ciudad de Guadalajara. Documentación histórica y análisis constructivo.

J.A. García Aznar; J. A. López Davó; J. Ferri Cortés; V.R. Pérez Sánchez; J. C. Pérez Sánchez; A. Jiménez Delgado y L. Rodríguez Valenzuela. Las cuevas de Crevillent (Alicante). Estudio y catálogo gráfico.

M. Martín García. Torres de alquería en la provincia de Granada.

C.A. Cacciaviliani. Aspectos técnico-constructivos de la arquitectura fortificada en el Condado de Monteodorisio (Italia),

S.E. Sanz Molina. La ciudad de Veracruz en 1765: estudio constructivo de los proyectos para su fortificación.

V. Montanari. El teatro de Marcelo en Roma: estructura y materiales.

J.A. Solís Burgos. La Plaza de España de la Exposición Iberoamericana de Sevilla de 1929. Proceso constructivo.

Sesión B34: Tipologías constructivas: construcción doméstica (II), palaciega y hospitalaria

Presidente: Mercedes Ponce Ortiz de Insagurbe

T. Falcón Márquez. Tipologías constructivas de los palacios sevillanos del siglo XVI.

A.M. Trallero Sanz. La solución constructiva de la galería del jardín del Palacio de Cogolludo (Guadalajara).

Mª D. Mérida Álvarez. Construcción y restauración en el Real Alcázar de Sevilla en el período isabelino (1843-1868).

M. A. Herrera Saavedra y V. Flores Alés. Intervenciones en el Real Alcázar de Sevilla durante la Segunda República.

J.L. González Moreno-Navarro. La organización constructiva del descenso de cargas del Palau Güell de Barcelona, obra de Antoní Gaudí.

A. Recio Mir. Materiales y técnicas constructivas en la Sevilla del bajo Renacimiento a partir de los datos de los hospitales del Amor de Dios y del Espíritu Santo.

Sesión B44: Tipologías constructivas: construcción hidráulica

Presidente: Antonio de las Casas Gómez

J. Martín Morales; M. Arenillas Parra; R. Cortés Gimeno; C. Díaz-Guerra Jaén y L. Arenillas Girola. El sistema hidráulico de Cornalbo en Mérida.

S. Colangeli. Las cisternas depuradoras romanas en Fermo (Italia).

C. Jusué Simonena; F. Miranda García; M. Arenillas Parra; R. Cortés Gimeno y C. Díaz-Guerra Jaén. Una obra de la Ilustración: la Presa de la Serna en El Arga.

J.I. Hereza Domínguez; M. Arenillas Parra; C. Díaz-Guerra Jaén; R. Cortés Gimeno. Juan de Villanueva en Teruel: el sistema hidráulico de La Ginebrosa.

SECCIÓN ESPECÍFICA: BÓVEDAS

Sesión A11: Análisis diacrónico (I)

Presidente: S. Huerta Fernández

Mª J. Chávez de Diego, P. Revuelta Marchena. Un paseo matemático por las bóvedas a través de la Historia.

M. D´Anselmo. La geometría de las estructuras abovedadas.

J.I. García Casas. Orígenes del arco de acodalamiento en la arquitectura romana.
I. Arce García. Un tipo inédito de trompas en la arquitectura omeya.
L. Ferre de Merlo. Bóvedas nervadas en el Castillo de Villena (Alicante).
Mª A. Utrero Agudo. Las bóvedas altomedievales en la Península Ibérica.
N. Santos Pinheiro. Una pesquisa sobre la bovedilla alentejana.
J. L. González-Moreno Navarro. Configuración constructiva de las bóvedas convexas de la iglesia de la Colonia Güell, obra de Antoní Gaudí

Sesión B11: Análisis diacrónico (II)

Presidente: E. Rabasa Díaz

J. Sánchez Leal. Bóvedas extremeñas y alentejanas de rosca y sin cimbra.
M. Fortea Luna, V. López Bernal. Patología de bóvedas de doble curvatura.
J.C. Gómez de Cózar, C. Rodríguez Liñán y P. Rubio de Hita. Geometrías concertadas. Las cabeceras de las iglesias gótico-mudéjares de la ciudad de Sevilla.
R. Gutiérrez-Solana Perea. Las bóvedas de la iglesia de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros (Burgos).
J. C. Palacios Gonzalo. Las bóvedas de crucería españolas de los siglos XV y XVI,
J. Fernández Salas; J. Gómez Martínez y J. C. Palacios Gonzalo. La Concha de la Platería de la Catedral de Santiago de Compostela: la estereotomía de las bóvedas cónicas.
F. Pinto Puerto. La falsa apariencia. Las plementerías en hiladas redondas en las fábricas del Arzobispado Hispalense.

Sesión B21: Análisis diacrónico (III)

Presidente: E. Rabasa Díaz

A. Jiménez Sancho. Rellenos cerámicos en las bóvedas de la Catedral de Sevilla.
J. C. Gómez de Cózar y P. Gómez de Terreros Guardiola. El Proyecto de Restauración de Varios Pilares, Bóvedas y Ventanages de la Catedral de Sevilla de Adolfo Fernández Casanova de 1884.
A. López Mozo. Las bóvedas de los sótanos de poniente del Monasterio de El Escorial.
J. Calvo López. Lunetas y arcos avanzados. El trazado de un elemento constructivo en los siglos XVI y XVII.
R. Bustamante Montoro. Bóvedas de cañón construidas con tufo de las viviendas arquipeñas.
C.C. Schilder Díaz. La herencia española: las bóvedas y cúpulas de quincha en El Perú.
J. Bassegoda Nonell. Elementos constructivos en Cataluña en tiempos de Gaudí.
A. Rodríguez García y R. Hernando de la Cuerda. La aportación de Hendrik Petrus Berlage en la construcción de bóvedas y nuevos sistemas estructurales en la transición del siglo XIX y XX.
J.M. Cabeza Lainez y J.M. Almodóvar Melendo. Las bóvedas de cerámica armada en la obra de Eladio Dieste. Análisis y posibilidades de adaptación a las condiciones constructivas españolas.
A. Mª Marín de Palma. Eladio Dieste, el arte de construir en ladrillo.

Sesión B31: Bóvedas tabicadas

Presidente: S. Huerta Fernández

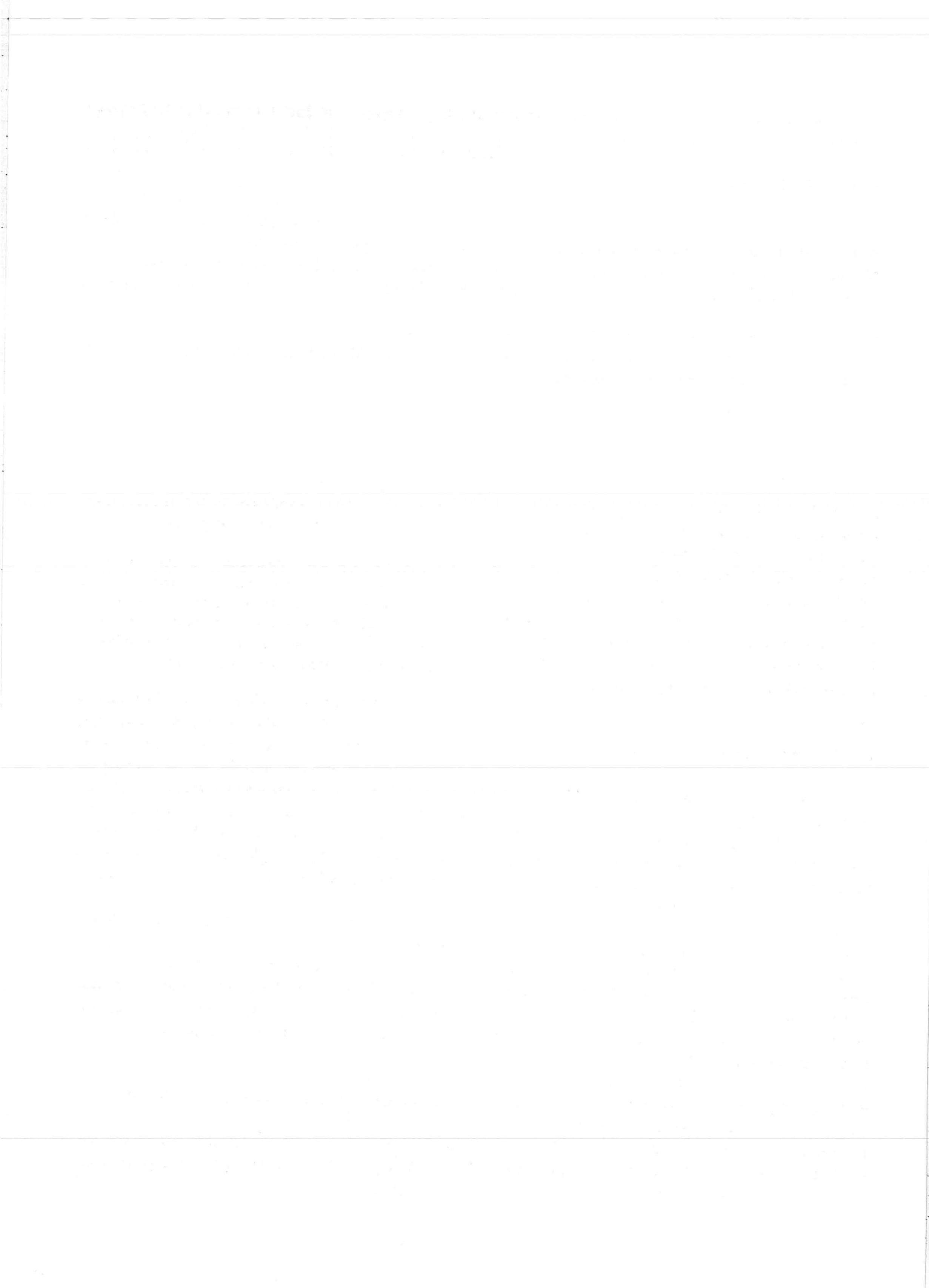
M. Ponce Ortiz de Insagurbe. La bóveda tabicada como mejora higiénica y económica en la construcción militar de acuartelamientos. El Cuartel de la Puerta de la Carne (Sevilla).
E. Redondo Martínez. Las patentes de Guastavino & Co. en Estados Unidos (1885-1939).
J. García-Gutiérrez Mosteiro. Las bóvedas tabicadas de Guastavino: forma y construcción.
J. I. de Llorens Durán. La optimización de las estructuras de ladrillo en las bodegas de César Martinell (1888-1973).
M. R. Frattaruolo. La bóveda *in folio*: tradición y continuidad.

J. L. González-Moreno Navarro. Configuración constructiva y comportamiento mecánico de las bóvedas tabicadas. Estudio de dos edificios abovedados del siglo XIX en el Bajo Llobregat (Barcelona).

Sesión B41: Cúpulas

Presidente: J. M. Macías Bernal

A. L. Candelas Gutiérrez. Bóvedas de madera. ¿Se pueden construir según describen los tratados?
M. Salvatori. Las cúpulas de doble casquete de la basílica de San Antonio de Lisboa en Padua (Italia).
R. Sierra Delgado. La cúpula de la Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla: contexto y evolución en Andalucía.
G. López Manzanares. La forma ideal de las cúpulas: el ensayo de Bouger.
L. Astrain Calvo; A.Tejada Villaverde; L. Casas López-Amor y J.M. Cabrera Garrido. La cúpula de la Basílica de Loiola en Azpeitia, Gipuzkoa.



Fuentes legales sobre construcción: las *Ordenanças* de Sevilla (1527)

Antonio José Albardonedo Freire

El derecho local de las ciudades castellanas del medievo, recogido en los Fueros Municipales, era un complejo de los privilegios y exenciones otorgadas por los reyes, a lo largo de los siglos a cada ciudad perteneciente a los territorios de realengo, o por el senor feudal en las ciudades del señorío. El contenido del Fuero de cada ciudad era el conjunto de privilegios, peculiaridades y exenciones más que un sistema global de la normativa vigente en ella.

Las *Ordenanças* de Sevilla de 1527

Las *Ordenanças* eran la expresión jurídica de un conjunto de derechos y normas sobre las cuales había una larga tradición y vigencia. Ante la situación jurídica compleja, y por mandamiento de los Reyes Católicos, tuvieron la necesidad de recopilarlas, corrigiendo o consagrando con ello las numerosas disposiciones anteriores. Por tanto, son resultado del estudio jurídico y compilatorio realizado por el Cabildo durante más de quince años,[1] para reunir y ordenar todos las cartas, fueros, privilegios, ordenamientos y exenciones otorgadas por los reyes desde la llamada *Ordenança Primera del Rey D. Alfonso*. Aquella larga empresa concluyó con la impresión de las *Ordenanças de Sevilla*, realizada por Juan Varela de Salamanca, en 1527.[2] De esta edición príncipe se conservan muy pocos ejemplares[3] y una reimpresión realizada en 1632. En el subtítulo de las *Ordenanças de Sevilla* de 1527, a modo de introducción, se recogieron expresamente los fines jurídicos que propiciaron este corpus, su valor y los promotores legales del compendio:

> Recopilación de las Ordenanças de... Sevilla: de todas las leyes, y ordenamientos antiguos y modernos, cartas y provisiones Reales, para la buena gobernación del bien público, y pacífico Regimiento de Sevilla y su tierra; hecha por mandado... de los Reyes Católicos... de gloriosa memoria, y por su Real prouision.

Es una fuente indispensable en el estudio del ordenamiento jurídico de Sevilla, y de aquellos otros que se inspiraron en él, además de serlo para el estudio del marco jurídico de la actividad económico-productiva. Consecuentemente es, así mismo, fuente imprescindible para el estudio de la Historia de la Construcción en el reino de Sevilla. Reúne el corpus normativo vigente en el siglo XV que perdurará sin grandes variaciones durante el reinado de los primeros Austrias.

Desafortunadamente, en la actualidad no contamos aún con ninguna edición crítica de las *Ordenanças*. Esta carencia se extiende a la mayor parte de los ámbitos de la Historia del Derecho Español. Lamentamos la inexistencia de estos estudios que hubieran sido de gran provecho para el presente trabajo.

Estructura del contenido de las *Ordenanças*

En origen, las *Ordenanças* carecieron de una estructuración rigurosa, lo cual no es una excepción antes

bien estaba de acuerdo con lo acostumbrado en la época. En este caso, el Cabildo sólo organizó levemente el conjunto en dos partes:

I. Recopilación de los ordenamientos

Eran normas generales de gobierno y organización de la ciudad; regularon algunas actividades mercantiles y de construcción. Tiene un contenido disperso y el orden de las disposiciones no responde a una estructura temática. En esta primera parte, los más importantes contenidos sobre Historia de la Construcción están reunidos en los títulos: *I. Del obrero de la ciudad y del ladrillar de las calles; II. De las calumnias de teja y ladrillo* y *III. Libro del peso de los alarifes y balanza de los menestrales.*[4]

II. Ordenanzas de los oficios

Eran normas de regulación de las actividades gremiales. No existían normas generales de organización global. Por tanto, en cada una de ellas se establecía, según criterios diversos, la regulación de cada actividad artesanal, caracterizándose por el predominio del proceso de transformación de la materia prima sobre el de la comercialización. Podemos advertir una cierta regulación en cada uno de los estatutos corporativos al responder al siguiente esquema: organización social del grupo; conocimientos técnicos y administrativas sobre la producción y los elementos producibles, que serán materia de examen para alcanzar el grado de maestro; y, procedimientos y normas de comercialización de los productos.

Las ordenanzas de esta segunda parte relacionadas con la Historia de la Construcción son las *Ordenanças de los Carpinteros* y las *Ordenanças de los Albañiles.*[5]

Para facilitar la comprensión sobre los contenidos objeto de nuestro estudio y, ante la falta de ediciones críticas que hayan estudiado las *Ordenanças* de 1527, recurrimos al esquema general realizado a propósito de la reedición facsímil de la impresión de 1632.[6]

Prescindiendo de las secciones que existían en las *Ordenanças* que sólo suponían una débil organización de las mismas, hemos establecido un esquema estructural de los ordenamientos que abarcan. El esquema empleado surge de la contemplación de la realidad global desde el punto de vista de la ciencia urbanística.

La realidad urbana está condicionada por las disposiciones que la regulan; en su diversidad, las partes se relacionaban orgánicamente, por lo que hemos utilizado un esquema ordenador[7] basado en el análisis de los modelos de comportamiento. Según este presupuesto, el contenido de las *Ordenanças* se puede clasificar en tres apartados temáticos:

1. La definición de los derechos y obligaciones de los ciudadanos en general.
2. Las normas relativas a la organización de la estructura e infraestructura urbana.

Dentro de este apartado se considera la legislación relativa a la disposición y consolidación de la base territorial y económica del asentamiento ordenado; la regulación específica del territorio: organización de la infraestructura urbana y el establecimiento de las bases que van a condicionar la estructura y morfología urbana; la regulación de las actividades profesionales. Constituyen el conjunto de disposiciones más importante, tanto por la profundidad y detalle de su contenido como por su extensión, proporcionalmente mucho más amplia que los otros temas tratados. Dentro de este epígrafe, que lo consideramos en su sentido más amplio, cabe distinguir actividades primarias, artesanales, político-administrativas, y las mercantiles.

Entre las primarias, se diferencia entre las actividades agrícolas y las ganaderas.

La regulación de las actividades artesanales ocupa la totalidad de uno de los dos libro de las *Ordenanças* caracterizándose éstas por un predominio del proceso de transformación del producto sobre la comercialización; otro matiz importante a tener en cuenta en ellas es la importancia del carácter gremial de las mismas. La regulación de cada una de las actividades gremiales responde al esquema antes referido en este mismo apartado.

Las actividades político-administrativas son las más minuciosamente reglamentadas y se desarrollan a partir de cuarenta y cinco títulos.

Entre las actividades mercantiles se incluyen aquéllas en las que la comercialización del producto es más importante que la manipulación industrial del mismo, pues la comercialización como actividad

pura, sin transformación del producto, estaba prohibida. Además, dentro de este apartado, se sitúan las disposiciones generales referentes a la regulación de las transacciones, como el establecimiento de los patrones de medida, aspectos relativos a las condiciones de los que desempeñan el comercio, la localización de la actividad y las normas particulares de regulación administrativa. Estos aspectos no están sistemáticamente considerados en todos los casos.

En general, estimamos que la incidencia de las disposiciones es más patente en la organización de la estructura urbana que en la formalización de las unidades arquitectónicas que la integran.

Con relación a la intervención de la normativa sobre la estructura urbana, hay que considerar el alcance de algunas disposiciones administrativas aparentemente desligadas de la planificación urbana, como la que hace referencia a la obligación de residencia para poder efectuar algunos tipos de transacciones, o la relativa al control de movimiento de ganado, que van a incidir sobre el tamaño de la ciudad.

Idéntica voluntad normalizadora a la que promovió la recopilación del ordenamiento legal de 1527, promoverá en 1567 la nueva recopilación mandada por Felipe II en la que se fijaba el descanso dominical, las horas de trabajo, la prohibición del juego, la formación de aprendices como contrapartida a la mendicidad, y, sobre todo, el control y fiscalización de los gremios por el Poder.

Gremios

Es conocido que en la mayoría de las ciudades de Europa Occidental, prácticamente todos los oficios se organizaron en colectivos profesionales-piadosos entre los siglos XIII y el XV. Fue un fenómeno complejo y progresivo, con diferente ritmo según las peculiaridades propias de la profesión y el estado económico de la comarca y de la ciudad en la que ésta se insertaba. El fenómeno fue común y dificultoso en toda Europa.

A partir del siglo XII, muchos artistas se reunieron en las ciudades, adoptaron una vida urbana sedentaria y comenzaron a organizarse en asociaciones que protegían sus intereses profesionales. Es lógico que esta agremiación se produjera antes en las grandes ciudades, y especialmente entre las profesiones que manejaban altos presupuestos, materias primas escasas o caras y en aquellos oficios con exceso de oferta profesional en el mercado, en búsqueda de la calidad de los trabajos y la defensa de la competencia desleal y de los advenedizos. Entre sus fines estaban la elección del órgano de gobierno de la asociación, el control y calidad del trabajo de los agremiados, la realización de exámenes para maestros de taller, las actividades asistenciales en la enfermedad, y orfandad, o las actividades de representación en los acontecimientos civiles, y religiosas, como eran los cultos al santo patrón.

Pese a adopción de la vida urbana sedentaria por parte de muchos artesanos la itinerancia todavía pervivió durante largo tiempo principalmente entre los arquitectos-tracistas, maestros de albañilería, cantería y vidrio, con traslados que imponían las obras o la carencia de ellas. En el mundo artístico, la agremiación fue tardía. En algunos casos se produjo bien avanzado el siglo XV y en otros durante el siglo XVI. Como ya se ha apuntado, la recopilación de los estatutos gremiales creados durante la Baja Edad Media e integrados como parte sustancial de las Ordenanzas Municipales, se produjo en Sevilla por mandato de los Reyes Católicos. El resultado del proceso recopilatorio se imprimió el año 1527.

Normas de la construcción aplicadas en Sevilla

En España, el surgimiento de las ordenanzas gremiales fue paralelo al proceso de agremiación. Son normas para inspeccionar la fabricación de materiales, y controlar la pericia profesional, el número de maestros del oficio, la competencia no cualificada, los riesgos económicos de las empresas y la necesidad de avalistas para contratar.

En el reino, la normativa laboral sobre la construcción, como la de las demás profesiones, era emitida por el Concejo de cada ciudad. La redacción era otorgada por el colectivo profesional que quería constituir un gremio, con autoridad delegada y arbitrio del Cabildo municipal. Cuando el estatuto gremial no era pactado con el colectivo se producían grandes tensiones profesionales y sociales. En recientes trabajos, se han estudiado los problemas causados por los albañiles murcianos al negarse a admitir las ordenanzas impuestas por el Cabildo, pues ellos no habían participado, como era costumbre, en su redacción.[8]

El gremio de los albañiles estaba constituido por los cargos directivos de la construcción, arquitectos-tracistas y aparejadores, y por la mano de obra, maestros peones y aprendices. Fue, entre los de producción artística, uno de los primeros en surgir por las necesidades de control de calidad, formación, aval y subsidio que lo caracterizaba.

La importancia que los gremios tenían en la ciudad se manifestaba en numerosas peculiaridades y en el papel que desempeñaban en el ordenamiento social. Una larga pervivencia es el mejor exponente de su esplendor, como lo son la vertiente asistencial desempeñada, el poder para influir en sectores sociales y urbanos, el rico patrimonio acumulado por los hospitales gremiales con el que financiaban la labor asistencial, y también el papel predominante que asumían en los actos públicos y fiestas —los recibimientos reales, en las representaciones y en el arreglo de carros de las procesiones del Corpus Christi—.

La magnitud de los gremios en el seno de la vida social sevillana se refleja, a su vez, en la preponderancia que su normativa tuvo en el conjunto de las *Ordenanças*. El profesor Romero Muñoz ya ha resaltado la importancia de estos textos en el conjunto de las fuentes legales para el estudio de los gremios.[9] Las *Ordenanças* a pesar de su rango, no contenían la totalidad de las disposiciones aprobadas y vigentes; algunas de las disposiciones no recogidas en las de 1527 fueron publicadas posteriormente por José Gestoso.[10]

La normativa sobre construcción de albañilería, como ya se ha dicho, ocupa en primer lugar una importante proporción del primer libro de las *Ordenanças*, *El libro de los alarifes* y, otra no menos valiosa en el segundo libro, el rico contenido del título dedicado al gremio de albañilería. Pero además, encontramos información sobre técnicas constructivas en los estatutos de algunos otros gremios, entre los que destacan por su apreciable contenido el de la corporación de carpinteros. El abundante vocabulario técnico usado en las habilidades exigidas para superar el examen de la maestría convierte los estatutos gremiales reunidos en la *Ordenanças* de Sevilla, en fuente principal para los diccionarios de términos arquitectónicos españoles de los siglo XVI al XVIII.[11]

Las normas urbanísticas en las *Ordenanças* están recogidas en *el Libro del Peso de los Alarifes*. Eran disposiciones que tendían a solucionar aspectos parciales de la ordenación urbana y que, en general, carecían de una intención planificadora del conjunto. Correspondían, básicamente, a normalizar la distribución de los solares y las inversiones en las infraestructuras de propiedad común, la vigilancia para impedir que se apoyasen las casa en las murallas, prohibirían las construcciones que podían angostar las vías o hacerlas menos saludables como eran los alerones, poyos, saledizos y soberados. En otros títulos, se abordaban asuntos jurídicos sobre servidumbres y daban instrucciones para resolver los diversos problemas que surgían entre vecinos acerca de la altura de las construcciones:

> Mantenimiento de la ronda interior de la muralla (cap. II):
>
> deuen catar los muros de la villa... y redrar [apartar] dellos, las cosas que les fazen mal, y daño, assi como es el estiercol que esta pegado a las paredes de los dichos muros: y que no llegue a los dichos muros, ninguna labor de froga, ni de estancal alguno: y que fagan dexar entre los muros, y las casas passadas[calle] en ancho....

> Planificación del suelo construible y del suelo público (cap. III):
>
> Los omes del pueblo que quieren fazer casas... deuenlas fazer, que sean todas de dentro de la cerca de los muros, y fuera de la ceca, que sean a merced del Rey, y a su mandamiento... y lo que fincare [quedare] las plaças, y las calles, y las rinconadas, todo es del Rey; y ningun ome no diga que es suyo, o que ha parte, sino se lo diere el Rey.

> Normas sobre la construcción y mantenimiento de los desagües de las casas (cap. V):
>
> Los caños de la villa, deue fazerlos el pueblo por mandado del Rey, en esta manera. Los vezinos de cada barrio, hagan su caño: y si se derribare alguna cosa de las paredes del caño, deuenlas fazer los que moraren en el barrio: y si se cegare el caño, deuenlo endereçar los que moraren de suso en el barrio, y los que moraren de suso, no deuen pagar en la costa de abrir el caño. E otrosi, todo ome que quisiere fazer caño de nuevo en su casa, y sacallo a la madre del caño, no deue meter en costa a sus vezinos, ca la pro del se es solo.

En capítulos sucesivos recogían otras normas sobre la regulación de la estructura e infraestructura urbana: dar salida a casas y otras superficies (cap. XVII); instrucciones sobre la construcción diferentes tipologías edilicias con usos singulares como baños

(cap. XVIII), hornos (cap. XIX); palomares (cap. XX); normas para los arreglos de torres, soberados y palomares (cap. XXI); ordenamientos sobre problemas con la altura de las casas (cap. XXI); pautas a seguir con los caños, canales y acequias que dañen las casas (cap. XXIII); instrucciones acerca de los alerones de los tejados, los soberados que atravesaban las calles y chimeneas, en los correspondientes (caps. XXV, XXVI, XXIX, XXXI); criterios a seguir en cuanto a las dimensiones de los solares, obligaban a mantener los límites marcados por los cimientos viejos (cap. XXVIII) y advertencias sobre la prohibición de hacer poyos en las fachadas de las casas ya que angostaban las calles (cap. XXXV).[12]

Como es normal, en la legislación municipal de la época, el contenido urbanístico de las *Ordenanças de Sevilla* adolece de desinterés por transformar y planificar el espacio público. No existía ninguna referencia sobre alineaciones; tan sólo contenían el título ya referido que obligaba a no traspasar los límites de los antiguos cimientos de las casas derribadas. Es cierto que sería en la segunda mitad del siglo XVI cuando en España comenzasen a aparecer los primeros intentos de planificación de los espacios públicos y las ciudades, como manifestación de la nueva sensibilidad manierista sobre lo urbano. Felipe II promulgó, con gran interés personal en la materia, el primer código urbanístico de la Edad Moderna para el territorio americano.[13]

Normativa sobre materiales de construcción

A) Ladrillo

En las *Ordenanças,* hallamos una estricta norma sobre la fabricación de ladrillos y tejas que abarcaba desde el control de la ejecución y medidas de los moldes, la venta clasificada dependiendo de su calidad, la recaudación de tributos o la inspección por parte del *Fiel de los ladrillos*, con la asistencia de un alarife, de todo el proceso de la manufactura y comercialización.[14]

B) Madera

El gremio de carpinteros examinaba de cuatro especialidades: *de lo prieto*, entalladores, violeros y *de lo blanco* (dentro de ellos se subdividen los exámenes *en geométrico* y *lacero*, además de dos profesiones *de tienda* y *de obra de afuera*). Los carpinteros *de obra de afuera* eran los que estaban estrechamente relacionados con la construcción. Con la que también mantenía alguna actividad los carpinteros *de lo prieto* por ser constructores de carretas y los carpinteros *de tienda* o *tendero* que realizaban puertas y postigos.[15]

Del mismo modo a lo regularizado sobre los ladrillos y tejas, la normativa era muy rigurosa sobre el abastecimiento de madera. La compra no era libre; estaba organizada en régimen de monopolio, controlada por el gremio. Los estatutos recogían todo lo referente a su normativa y también las estrictas órdenes en cuanto a las dimensiones de troncos, madera aserrada o *madera de hilo* y tablazón.[16] El control del abastecimiento y del reparto de la madera entre los Los cargos de maestros de carpintería recaía en cuatro carpinteros elegidos por el gremio, el día del Corpus Christi, para desempeñar el cargo durante un año:

> Otrosi, que cada vn año sean elegidos los dichos quatro [carpinteros para comprar la madera] por todos los oficiales carpinteros desta cibdad, que sean personas de buena fama, y conciencia para que estos requieran, quando alguna madera se ouiere de comprar, y fagan lo contenido en estas dichas Ordenanças... op. cit. op. cit. y despues de asi elegidos... vayan al Cabildo de la cibdad, para que alli fagan la solenidad, y juramento...y alli se les den poder complido para fazer, y complir lo contenido en las dichas Ordenanças....[17]

Con semejante exigencia a la hasta ahora mantenida en otras cuestiones, se mandaba que todos los maestros hicieran público, en la calle de la Carpintería, las peticiones que recibieran de los clientes para que les hicieran condiciones o *remates* para contratar la ejecución de un trabajo. De este modo, al convertirse obligatoriamente en una oferta pública, los maestros del gremio que lo desearan podían presentar sus presupuestos y competir entre ellos:

> Item, que el tal oficial examinado pueda fazer condiciones del dicho oficio en todos los lugares que fueren menester, y llamados para ella, no poninedo remate ninguno en las dichas condiciones... y queriendo el señor de la obra que se faga remate, el tal oficial que assi las fiziere, sea obligado a pregonallas, tres dias antes que se ayan de rematar las dichas obras en la calle de

> la carpinteria: por manera, que venga a noticia de todos...[18]

El control del gremio y la regularización del trabajo de albañilería

La autoridad del gremio de albañiles era desempeñada por profesionales con prestigio, elegidos anualmente por los maestros en la festividad del Corpus Christi.[19] Los elegidos desempeñaban el cargo de alarife y cumplían los cometidos recogidos en el título *Libro del peso de los alarifes y balanza de los menestrales*[20] de las *Ordenanças*: visitar las obras, emitir informes, sancionar las infracciones, convocar la asamblea para proceder al relevo de los cargos y examinar a los futuros maestros. El examen de maestría lo realizaban junto con otros dos examinadores, igualmente elegidos anualmente, con los que constituían el *Juzgado de alarifazgo*. Para la prueba, contaba con la asistencia de un escribano encargado de registrar en un libro a los examinados y entregarles la *carta de examen* en la que se especificaba la especialidad de la que se había examinado, podía ser *de lo sutil* y *de lo basto*.[21]

La más importante fuente histórica sobre la actividad de los alarifes en Sevilla, el *Libro de los Alarifes*, comienza con un párrafo introductorio en el que especifica su contenido: «Aqui comiença el libro de los juyzios de las frogas, y de las labores nuevas, y de las viejas, como se han de fazer, y derribar, y de todo los otros edificios, de qual manera se deuen reparar...».

Dentro de la diversidad de funciones que el cargo de alarife desempeñaba, la formación legal y principalmente el discernimiento y habilidad para resolver conflictos entre partes, además de un recto carácter moral, eran cualidades necesarias y muy valoradas para la designación. Podemos enunciar algunas de las más importantes actividades en las que participaba: tasaciones, informe técnico, vigilancia de descuido de la *lex artis* y juicios sobre derechos de servidumbres. Con frecuencia, tenían que entender en asuntos de responsabilidad civil: responsabilidad objetiva de los profesionales, contratos de ejecución, planificación de la ciudad, ley de aguas, y otras numerosas materias dentro del derecho civil como son los relativos a la comunidad de bienes, arrendamientos, prescripciones adquisitivas sobre muros o servidumbres, conservación de edificios, delimitaciones de propiedad, etc. Por ello, dada la trascendencia y complejidad de su labor jurídica se realizó, en el *Libro del peso de los alarifes,* a modo de memorandum de su actividad, una amplia recopilación en cuarenta y un capítulos. En la misma la introducción, quedaron también recogidos los fines que motivaron la redacción del libro: «E fizo este libro, porque sea peso, y faga, y guarda a los omes dando su derecho a cada una de las partes, y pusieronle nombre, Peso de los alarifes, y Balança de los menestrales, porque el su nombre fuesse tomado de aquesta arte».

Así mismo, en el preámbulo se especificaba la estructura del *Libro* y anunciaba que se acompañaba de un anejo, hoy no conservado, con los conocimientos de Geometría necesarios para los alarifes, sobre los que hoy nada podemos conocer. Aún así, suponemos que se aproximarían a los habituales de otras obras semejantes en las que se acompañaban los textos con representaciones gráficas para mejorar su comprensión:

> y aqueste libro, fue compartido en.xlj. capitulos de juyzios, para juzgar las frogas, y otras cosas que pertenescen ser juzgadas por los alarifes, y pusieron en fin deste libro cosas que son seguidas de aquesta arte, que son de Geometria, que las han los alarifes mucho de menester, y son figuradas, porque se entienda mucho mejor.[22]

La Geometría, por su precisión y capacidad comunicativa, ha estado presente desde los comienzos de la arquitectura como arte. En los oficios de la construcción, se la consideró como principio científico y fundamento del verdadero arte de construir. La representación gráfica, basada en la Geometría, siempre ha tenido un importante papel como sustituto de la realidad arquitectónica en el proceso de trazado, pero su cometido dependía de los conocimientos y de las técnicas de sustitución dominadas. En el Renacimiento, la conjunción de una nueva actitud analítica y una nueva visión del espacio más lógica, apoyada en medios gráficos interpretables por cualquiera que dominara los rudimentos, lograron la difusión de los discursos teóricos propios. Por esta razón, los arquitectos recurrieron a los estudios geométricos y a su representación gráfica en los cuadernos de notas y más oportunamente en la edición de los tratados que concebían para ser publicados.[23]

A continuación, en el capítulo primero de los cuarenta y uno que componen el *Libro de los Alarifes,* se

refiere que las condiciones para desempeñar el cargo de alarife son competencia profesional, calidad moral y, como consecuencia de ello, la imparcialidad en los asuntos que debe juzgar:

> Los alarifes... que quiere tanto dezir, como omes sabidores, que son puestos por mandado del Rey, para mandar fazer derecho... deuen ser acatados, aquellos que fueren escogidos para ser alarifes:y que ayan en si a lo menos estas cosas, que sean leales, y de buena fama, y sin mala cobdicia; que ayan sabiduria de Geometria, y entendidos de fazer engenios, y otras sotilezas: y que ayan sabiduria para juzgar pleytos derechamente por su saber, o por uso de luengo tiempo: y que sean mansos, y de buena palabra a los que ouieren de juzgar: y que metan paz entre ellos: y que juzguen por mandado del Alcalde, con... acuerdo de omes buenos que sean de tal arte de su menester: y sobre todo, que teman a Dios y al Rey; ca si a Dios temieron, guardarse han, de fazer pecado, y aueran en si piedad, y justicia dando a cada vno su derecho: y si al Rey ouieren miedo, rezelarse han de fazer cosa porque les venga mal, viniendoseles en mientes, como tienen en su lugar, para juzgar derecho.[24]

Las competencias de los alarifes de albañilería y carpintería han generado estudios que aún presentan ciertas dudas sobre la formación y actividad de estos profesionales. En estos trabajos, suele aparecer relacionadas las *Ordenanças* de Sevilla del 1527 como fuente importante de información.[25]

Del abundante contenido del *Libro*, destacaba, por la novedosa orientación adoptada, la apuesta a favor de que los alarifes dominaran las soluciones constructivas modernas frente a las antiguas: «ca muchas cosas son antiguas, que no deuen ser usadas,y muchas cosas nuevas, deuen ser durables».[26]

Asimismo, es muy apreciable la opinión vertida sobre la lastimosa situación en que se encontraba la actividad constructiva por la escasa cualificación de algunos profesionales, la incapacidad para analizar y dar soluciones a los problemas y abordar con destreza las labores que le eran propias; por ello acudían a construcciones de menor calidad que exigían inferior pericia. Además de recoger, dentro de los conocimientos requeridos para alcanzar la maestría en albañilería, elementos constructivos propios del nuevo estilo renacentista como eran los arcos escarzanos.[27] Al mismo tiempo, acusaban a los maestros del desinterés por conocer la Geometría, los recursos militares o los medios auxiliares que permitían elevar grandes pesos:

> no querian embargar sus coraçones en trabajar por sus entendimientos, que aprender arte de Iumetria, ni de faber las sotilezas de los ingenios liuianos, que son para alçar los grandes pesos que siruen a las grandes labores, y fazen seruicio al Rey, y al pueblo... y los en genios que son usados en servicio de los Reyes, y combatir las villas, y los Castillos... Ca sabiendo los alarifes, estas cosas, son complidos en su arte, y quando vsan bien della, quiérenlos los Reyes bien, y fázenles grandes mercedes, y son conocidos de los ricos omes... y hazen servicio a Dios, por ganar el sancto Parayso, porque ponen paz entre los omes, juzgandolo el derecho, y sacandolos de grandes contiendas.[28]

En el segundo capítulo del *Libro del peso de los alarifes* se recogen las obligaciones que corresponden al cargo con relación a la inspección y conservación de las obras públicas:

> E luego que los al alarifes fueren puestos, la primera cosa que deuen fazer, luego que son fechos alarifes, deuen catar los muros de la villa, y fazer en manera, por que se labren, y reparen de aquello que de derecho se deue labrar, y repara, y redrar dellos, las cosas que les fazen mal, y daño, assi como es el estiercol que esta pegado a las paredes de los dichos muros: y que no llegue a los dichos muros, ninguna labor de froga, ni de estancal alguno: y que fagan dexar entre los muros, y las casas passadas en ancho: y que no finque caño alguno en los muros, porque quepa ome. Otrosi, deuen ver las casas del Rey, y fazer en manera porque se labre, y reparen de todo lo que fuere menester. E otrosi, deuen ordenar los mercados, y las tiendas, y las posadas do posen los recueros: y que los asseguren, y busquen pro, y seruicio del Rey, de quisa que no sea a daño de otro alguno.[29]

Normativas de acceso a la maestría de albañilería

Como parte integrante de la normativa que regula el gremio de la albañilería se incluye la reglamentación sobre el acceso a la maestría. Sabemos que en algunas ciudades, dada la abundancia de construcciones, la autorización para ejercer el oficio de albañil sólo requería realizar unos trabajos simples, y no comportaba el pago de ninguna tasa. En Sevilla, el examen era muy exigente en cuanto a los conocimientos técnicos requeridos, los cuales nos son conocidos por la detallada relación recogida en los estatutos del gremio. El examen se realizaba ante el *Juzgado del alarifazgo* constituido tal como ya se ha referido; por el

examen se cobraban tasas semejantes a las de otras profesiones:

> Otrosi, ordenamos... que qualquier oficial que se viniere a examinar delante de los dichos Alcaldes examinadores, seyendo de Seuilla, si se examinare de lo basto, de a los Alcaldes examinadores y escriuano del dicho juzgado de alarifalgo ante quien passan las tales examinaciones, quatro reales, y los que se examinaren de lo sotil [lo sutil], den seys reales, y se reparta en la manera suso dicha.[30]

Así mismo, frente a las ciudades donde no se requería un periodo de formación como aprendiz, en Sevilla se especificaba un periodo de formación de cuatro o cinco años según la especialidad de albañilería. Posiblemente existió una cierta libertad a la hora de no exigir el un periodo de aprendizaje. Estas son las normas más importantes sobre la formación de los aprendices:

> Otrosi, ordenamos... que el aprendiz que quisiere aprender del arte suso dicha, entre con maestro sabidor de la dicha arte: y para aprender lo bastardo, sirua quatro años de buen seruicio: y para aprender lo sotil, sirua cinco años, porque en este tiempo sea buen oficial del dicho oficio, queriendo el aprendiz aprender el dicho oficio
>
> Otrosi, ordenamos y mandamos que ningun ofical que no fuere examinado, y habile en el arte suso dicha, que no tome ningun aprendiz para le enseñar: so pena de dos mill marauedis.[31]

En general, hay que sostener que los exámenes para alcanzar la maestría de albañilería en Sevilla fueron más exhaustivos que en otras ciudades estudiadas. Resulta especialmente rica la información acerca de los conocimientos y destrezas requeridos para alcanzar el grado de maestro, donde se recogen cada una de las construcciones usuales, un catálogo de elementos constructivos y una larga relación de las labores específicas, para cada uno de los tipos edilicios. Su análisis ha requerido el estudio del vocabulario técnico de la época; incluye abundantes términos que en ocasiones precisaron ser identificados a través del estudio de sus variantes léxicas y ortográficas.

Los albañiles que se examinaban para ser maestro, a finales del siglo XV, tenían que demostrar la vecindad ya que las tasas, para los vecinos de Sevilla eran de un importe inferior al pagado por los vecinos de los pueblos limítrofes que pagaban las tasas doblas (6 y 12 reales respectivamente). Cada uno debía reunir unas aptitudes profesionales concretas: «Otrosi mandamos... que el dicho maestro sepa labrar de la mano y plomo, y quadrado, y a peso, y lleno y bien trauado, y limpio», y reunir unos amplios conocimientos sobre materiales y elementos constructivos y sobre tipologías constructivas completas.

Materiales y elementos constructivos

— mezclas
— encalar
— solar
— tejados
— portales de yesería
— aparejos de ladrillo y azulejos
— escaleras diversas
— chimeneas
— puertas
— puertas de salas
— lunas [patios de luces]
— arcos y pilares de diversos tipos

> Otrosi, ordenamos... que sepa fazer arcos grandes y pequeños y guardados, auer peso; assi redondos, y jubizies, como escazaries [escarzano], y terciados quartos, y tabicambaja esarpanel, y arcadiente, y trunfate; y sepa helles las gorduras a las roscas, y bolsuras [bolsores, dovelas], y puntos, y bayseles, segun les pertenesce; y saber sambrar [chambrar] a cada uno dellos, como conuiene; y sepan fazer pilares ochauados, y redondos, y antorchados, y barbeles; y sepan fazelles sus pies, y cabeças, segun conviene, y sepan dar sus respaldos a cada vno, como conuiene.

Tipologías constructivas[32]

— casa común
— casa principal
— casas reales
— iglesias de tres naves
— norias
— peso
— albercas
— puentes
— canales maestras
— molino de pan
— molinos de aceite
— fortalezas
— monasterio

Ante esta extensa gama de actividades constructivas, cabe plantearse si detrás de ella no existiría una cierta especialización profesional. Al respecto, en las *Ordenanças* de Sevilla, como ya hemos apuntado, por lo menos se especifica la existencia de dos aprendizajes de albañilería: uno de *lo basto* y otro de *lo sotil.* Así mismo, nos parece oportuno recordar como

en el *Libro del peso de los Alarifes* se hacía expresa mención a la diferencia entre los antiguos y a la vez malos profesionales de la albañilería, de escasa cualificación, que realizaban labores antiguas y los maestros modernos y de calidad de mayor instrucción y con formación en Geometría y conocimiento sobre medios auxiliares para el movimiento y elevación de materiales.[33]

Pese a lo planteado, lo cierto es que legalmente la jerarquización profesional dentro de la construcción es mínima. En un estudio reciente, se analiza la relación entre la figura del maestro, y complementaria a ella sólo aparece la del peón, una diferencia profesional que está también contrastada documentalmente en los salarios. El escalón más bajo en lo profesional sería el aprendiz. Como hemos dicho, en algunas ciudades no existía la obligación expresa de pasar por un periodo de aprendizaje en el gremio de la albañilería, lo que nos lleva a pensar que esta figura de persona en formación puede estar confundida en numerosos casos con la del peón. De hecho en la letra de las *Ordenanças* de Sevilla se aprecia claramente el paso del aprendiz a maestro sin pasar por el grado de peón.[34]

Muy probablemente la falta de una jerarquización en el oficio influyó para que las normas que regulaban el trabajo de la construcción, en muy escasas ocasiones contuvieran disposiciones sobre la relación profesional entre maestros y peones, a excepción de las salariales. De hecho, las menciones que se hacían en las mismas, sobre relaciones laborales tenían por objeto sobre todo la justicia y rectitud de las relaciones, más que la regulación de la competencia, y habitualmente se referían al vínculo entre el contratante y el maestro.

Finalmente, y como conclusión, juzgamos esta documentación como fundamental para el conocimiento de la Historia de la Construcción. Su contenido, diversísimo y rico, es difícilmente sustituible por el aportado por otras fuentes, ya que además de recomendar formas constructivas del novedoso estilo *a la romana* y el dominio de la Geometría abarca un amplio conjunto de información y técnicas entorno a la construcción, la organización social del grupo profesional, los procesos constructivos y medios auxiliares; la didáctica profesional; la normativa: sobre la actividad profesional, planificación urbana y servidumbres; las inspecciones que los alarifes realizaban sobre los materiales, las construcciones y la ocupación del suelo.

NOTAS

1. En muchas ciudades las ordenanzas existían sólo en manuscrito, a disposición de quien precisara consultarlas. Recientemente, se han publicado algunas de ellas, por ejemplo, las de los Concejos de Carmona, Córdoba o Gran Canaria. Ver: *Ordenanzas del Concejo de Carmona*, edición de Manuel González Jiménez, Sevilla 1972; *Ordenanzas del Concejo de Córdoba* (1435); edición de Manuel González Jiménez, Sevilla 1974; *Ordenanzas del Concejo de Gran Canaria* (1531); edición de Francisco Morales Padrón, Las Palmas, 1974.
2. *Recopilación de las Ordenanças de la Muy Noble e Muy Leal Ciudad de Sevilla.* Impresa en Sevilla en 14 de febrero de 1527, por Juan Varela de Salamanca. Ed. en folio, ocho hojas de prels, sin foliar; CCLI de texto.
3. *Ordenanças de Sevilla...*, Archivo Municipal de Sevilla, Sección XI *Papeles del Conde del Aguila*, tomo 43 (ejemplar a dos tintas, encuadernación y caja forrada en seda, procede de la colección de Miguel de Espinosa, conde del Aguila. La colección fue puesta a la venta por los albaceas de su hijo y comprada por el Ayuntamiento en 1809. Este ejemplar de las *Ordenanças* posee una inscripción que denota su origen: «De la librería del convento de San Pablo»). Biblioteca General Universidad de Sevilla, sig.: A Res 17/ 3/ 01.Escuela Técnica Superior de Arquitectura, sig.: Armario 1 ORD/ ord.
4. *Ordenanças...*, op. cit., pp. 72, 80 y 141-146v.
5. *Ordenanças...*, op. cit., pp. 147- 149 y 150-152.
6. Pérez Escolano, Víctor y Villanueva Sandino, Fernando: «Introducción» en *Ordenanças de Sevilla...* Sevilla, Andrés Grande, 1632; ed. facsímil, Otaisa, 1975, pp. XI-XIX.
7. Hemos utilizado para la elaboración del esquema ordenador el modelo propuesto por Mc. Loughlin para explicar el funcionamiento de los mecanismos de la organización territorial, desarrollando las teorías de Chapin (Chapin, F.Stuard Jr.: *Urban Land and Use Planing*, Chicago, 1965).
8. Menjot, D.: «Los trabajos de la construcción en 1400: primeros enfoques», *Miscelánea Medieval Murciana, 1980* (Menjot, D.: «La main d'oeuvre des travaux publics en Castilla Méridionale au Bas Moyen Age: L'exemple de Murcie», *Razo*, nº 14, 1993).
9. Aparte de su tesis doctoral, *Aprendizaje y formación profesional en los gremios sevillanos del siglo XVI* (1949), Vicente Romero Muñoz ha publicado diversos trabajos sobre el tema: «Fuentes para el estudio de los gremios de Sevilla» en *Homenaje al profesor Giménez Fernández*, vol. II, Sevilla 1967; «Martínez Montañés y las leyes sociales», en *Archivo Hispalense*, núm. 35, Sevilla 1949; y, en especial, «La Recopilación de Ordenanzas Gremiales de Sevilla en 1527», en *Revista de*

Trabajo, Madrid 1950, núm. 3.

10. Vease: Romero Muñoz, V.: *Fuentes para el estudio...*, ob. cit. pp. 201 y 202.

11. Real Academia Española: *Diccionario de la lengua Castellana, llamado de Autoridades*. Madrid, 1726-39; Mariategui, Eduardo: *Glosario de antiguos vocablos de arquitectura y artes auxiliares*. Madrid, 1876; Clairac y Sáenz, Pelayo: *Diccionario general de Arquitectura e Ingeniería*. Madrid, 1877; García Salinero, Fernando: *Léxico de los alarifes de los Siglos de Oro*. Madrid, 1968.

12. *Ordenanças...*, op. cit., pp. 142-146v.

13. *El Orden que se ha de Thener en Descubrir y Poblar*. Ed. Ministerio de la Vivienda, 1973. El 13 de julio de 1573, el Rey expidió el primer código de urbanismo de la Edad Moderna. Era un conjunto de disposiciones bajo el título de *El Orden que se ha de Thener en Descubrir y Poblar*, conocidas como las *Ordenanzas de Población*, destinadas a las colonias españolas de América.

14. *Ordenanças...*, op. cit. pp. 80- 80v:

— *«Conformándose Sevilla con los aranceles y ordenamientos antiguos, tiene ordenando que los tejeros, y ladrilleros, sean obligados a poner ... el ladrillo y la teja blanco a su parte, y el ladrillo y la teja rosado, a su parte... y asi lo vendan cada cosa por su precio, y no buelto lo uno con lo otro, y que lo venda lo sano por sano y lo caxcado por caxcado, que sea de la gordura y longura ... que la cibdad tiene ordenado, y si se bolviere el dicho ladrillo o teja, lo uno con lo otro* [blanco con rosado y sano con cascado]... o fuera menguado de la dicha marca, que lo pierda todo, y mas pague doze marauedis, y sea todo para el arrendador desta renta...»

— «Otrosi, que el dicho arrendador[de la renta de los ladrillos] sea obligado a requerir continuamente donde la dicha teja o ladrillo se vende, por manera que se haga y cumpla...»

— «Otrosi, que ninguno... carpintero, ni otra persona alguna, no sea osado de fazer las formas galapagos, con que se fazen las tejas y ladrillos, salvo aquellos carpinteros que lo tienen por renta de Sevilla... y qualquier que contra esto passare que peche seyscientos marauedis para los dichos arrendadores...»

— «Otrosi, por una ordenança fecha y acordada por çibdad, en diez y siete dias del mes de mayo de MDXVIJ años paresce dada cierta forma que se ha de tener en lo que toca a la teja y ladrillo y las penas en que incurren los que lo defienden, el tenor de la qual es este que se sigue».

— «Por experiencia paresce notoriamente, que de la desorden que se ha tenido de poco tiempo aca en la teja y ladrillo que se faze y vende en esta cibdad... moradores della han rescebido... mucho agravio. Y porque los fraudes ... cesen... ordenamos... que ...ninguna... persona sea osado de fazer... teja o ladrillo con guavera [gabera], ni en gradilla, ni en galapago, que no estuviere marcada nuevamente del Fiel, que para ello tiene cargo de la cibdad... y que todos los que fazen... ladrillo o teja de aui adelante ... lo fagan de buen barro limpio y bien amasado, sin otra mezcla alguna, salvo de los materiales que son necesarios para la purificacion de la dicha teja y ladrillo, so pena que por la primera vez paguen seyscientos marauedis... y quando que el dicho Fiel fuere a requerir las dichas gaueras... que lo resciban sin le fazer afrenta .. Y que la teja y ladrillo que se trajere para vender en esta cibdad, ninguno sea osado de lo poner en rejal [apilado], fasta que primeramente sea visto por el dicho Fiel, con uno de los alarifes de la dicha cibdad...»

— «Otrosi, que los que tuvieren gradillas, o gaueras o galapagos con que se fazen la dicha labor sean obligados, a lo menos cada un mes, de lleuarlas al dicho Fiel, para que las vea, y las que fallare que estan menguadas del marco, que la quiebre luego... y por las que fallare que estan justas... que no lleue derechos ningunos por las examinar»

15. *Ordenanças...*, op. cit., pp. 148v.-149.

16. *Ordenanças...*, op. cit. pp. 147- 148v.

— «Primeramente ninguna persona regaton, ni carpintero desta cibdad, no sea osado de yr... a la villa de Sant Lucar de Barrameda, ni a los puertos, a comprar madera para la auer de reuender: so pena que pierda la madera que comprare y pagará de pena seyscientos marauedis por la primera vez...»

— «Otrosi, que ninguno de las dichas personas, no sea osado de comprar en esta cibdad medera ninguna de la que viene sobre mar, para la auer de reuender...»

— «Otrosi, cada y quando qualquier... carpinteros desta cibdad, les sea necessario auer de comprar madera de la que viene sobre mas, que los otros carpinteros lo sepan: y si quieren parte de la madera assi comprar quisieren, o no que antes que la compren, lo fagan saber a los quatro carpinteros elegidos en cada un año por los otros carpinteros, como quieren comprar la dicha madera: y que ellos estén con los otros, y se concierten, para que los dichos quatro carpinteros la compren para todos, por bien de paz y amor, porque todos ayan parte, cada vno lo que le cupiere: y si lo contrario fiziere... que incurran en las dichas penas suso nombradas: y esto no se entienda a cierta madera de hilo, porque esta a tal está estante en esta dicha cibdad, mas que la otra».

— «...Mandamos a los sobredichos quatro carpinteros, o a qualquier dellos, a cuya noticia allegare, que cada y quando vieren... que alguno... de los dichos carpinteros excede la forma destas Ordenanças... op. cit. op. cit. que lo fagan saber a la cibdad en su Cabildo otro dia siguiente: so pena de seyscientos marauedis a cad vno dellos,...»

— «Iten, que ningun mercader ni vezino desta cibdad... no

pueda tomar madera para vender en la ribera desta cibdad, ni en otras partes qualesquier...de la que a esta cibadd viniere, sino que el tal vezino ... que assi quisiere vender la dicha madera, vaya o embie por ella a los lugares o puertos donde ella se trae; y el tal mercador... que assi la truxere, y la descargareen el puerto... desta cibdad, no la pueda vender, ni empilar, fasta tanto que lo faga saber a los veedores que feuren elegidos de cada vn año, juntamente con el Alcalde del dicho oficio de los carpinteros... para que... vean y marquen la dicha madera, dandole lpos tamaños que les conuienen, que son los siguientes:

— La viga de carro... veynte y cinco pies arriba
— La terciada, de diez y nueve pies arriba
— Y la media viga, de quinze pies arriba
— Y el ponton, de diez y nueve pies arriba
— Y el terciado, de quinze pies arriba
— Y el medio ponton, de doze pies arriba
— Y la tirante, de catorze pies arriba
— Y la medio tirante, de nueve pies arriba
— Y el agujero, assi mismo, de catorze pies arriba
— Y el medio agujero... de nueve pies arriba

Dandoles a cada una destas dichas maderas el anchura u gordura que le pertenesce para lo que ha de seruir: esto se entienda de marcar y sellar en las maderas de hilo, y no de otras; y el tal mercaderque assi le fuere marcada la dicha madera, de y pague a los dichos Alcalde, y veedores, dos marauedis por carro por el marcar della...»

17. *Ordenanças*..., op. cit., p. 147v.
18. *Ordenanças*..., op. cit., p. 147v.
19. *Ordenanças*..., op. cit., p. 151.
20. *Ordenanças*..., op. cit., pp. 141-146v.
21. *Ordenanças*..., op. cit., p. 151v.
22. *Ordenanças*..., op. cit., p. 142.
23. Numerosos tratadistas desde la Antigüedad nos han dejado testimonio de ello: Vitrubio, Villard de Honnencourt, Antonio Averlino *Filarete*, Francesco de Giorgio Maritni, Leonardo da Vinci, Fra Giacondo, Cesare Cesariano, Diego de Sagredo, entre otros.
24. *Ordenanças*..., op. cit., p. 152.
25. García Salinero, Fernando: *Léxico de alarifes de los siglos de oro*. Madrid, 1968, pp. 6-7.
26. *Ordenanças*..., op. cit., p. 142.
27. *Ordenanças*..., op. cit., p. 150.
28. *Ordenanças*..., op. cit., p. 142.
29. *Ordenanças*..., op. cit., p. 142.
30. *Ordenanças*..., op. cit., p. 151v.
31. *Ordenanças*..., op. cit., pp. 151-151v.
32. *Ordenanças*..., op. cit., pp. 150-151v.
33. *Ordenanças*..., op. cit., pp. 151 y 142
34. Collantes de Terán, A.: «L'apprenti dans l'Espagne médiévale» en *Razo*, nº 14, 1993, pp. 87-102.

Bibliografía

Alcocer Martínez, Mariano: «Fuentes para la historia de los Gremios», en *Boletín de la Academia de Estudios Historicos-Sociales*, fascículos I y II. Valladolid, 1921-1923.

Alonso Ruiz, Begoña: *El arte de la cantería. Los maestros transmeranos de la Junta del Voto*. Santander, 1992.

Borrero Fernández, Mercedes: «Los medios humanos y la sociología de la construcción medieval» en *La técnica de la arquitectura medieval*. Sevilla, 2000.

Contreras y López de Ayala, Juan: Marqués de Lozoya, *Los Gremios Españoles*. Madrid, 1944.

Díez G. O'neil, J. L.: *Los Gremios en la España Imperial*. Madrid, 1941.

Falcón Márquez, Teodoro: *El aparejador en la historia de la arquitectura*. Sevilla, 1981.

Fernández Alba, Antonio: «Aprendizaje y práctica de la arquitectura en España» en Kostof, Spiro (coor.): *El arquitecto. Historia de una profesión*. Madrid, 1984, pp. 297-319.

García y García, Tomás de Aquino: *La corporación laboral en la Historia de Sevilla*. Sevilla, 1951.

García Salinero, Fernando: *Léxico de los alarifes de los Siglos de Oro*.Madrid, 1968.

García de Valdeavellano, Luis: *Historia de las instituciones españolas*. Madrid, 1970.

Gestoso y Pérez, José: *Ensayo de un Diccionario de artífices que florecieron en Sevilla desde el siglo XIII al XVIII inclusive*. Sevilla, 1899-1909.

González de León, Félix: *Historia... de las cofradías... de Sevilla*. Sevilla, 1852.

Gutiérrez Rubio, Julián: «Formación y evolución de los Gremios», en *Revista de Trabajo*, núm. 9. Madrid, 1944.

Kostof, Spiro (coord.): *El arquitecto. Historia de una profesión*. Madrid, 1984.

López Martínez, Celestino: *Maestros mayores del Concejo hispalense*. Sevilla, 1927.

López Martínez, Celestino: «Organización corporativa de Sevilla en tiempo de San Fernando», en *Archivo Hispalense*, núms. 27-32. Sevilla, 1948.

Marías, Fernando: «El papel del arquitecto en la España del siglo XVI» en *Les chantiers de la Renaissance*. París, 1991, pp. 247-261.

Montoto Sedas, Santiago: *Sevilla en el Imperio (siglo XVI)*. Sevilla, 1938.

Muro Orejón, Antonio: «Los gremios sevillanos y la fiesta del Cuerpo de Dios», en *El Correo de Andalucía*, 11 de junio de 1936.

Ordenanças de Sevilla... Sevilla, Juan Varela de Salamanca, 1527; Andrés Grande, 1632; ed. facsímil Otaisa, 1975.

Reglá, Juan: *Historia General del Trabajo. La época del artesonado*. Barcelona, 1965.

Rodríguez Estévez, Juan Clemente: *Los canteros de la Ca-*

tedral de Sevilla. Del Gótico al Renacimiento. Sevilla, 1998.

Romero Muñoz, Vicente: *Aprendizaje y formación profesional en los gremios sevillanos del siglo XVI*. Tesis doctoral, 1949.

Romero Muñoz, Vicente: «Fuentes para el estudio de los gremios de Sevilla» en *Homenaje al profesor Giménez Fernández*, vol. II. Sevilla, 1967.

Romero Muñoz, Vicente: «Martínez Montañés y las leyes sociales», en *Archivo Hispalense*, núm. 35. Sevilla, 1949.

Romero Muñoz, Vicente: «La Recopilación de Ordenanzas Gremiales de Sevilla en 1527», en *Revista de Trabajo*, núm. 3. Madrid 1950

Rumeu de Armas, Antonio: *Historia de la Previsión social en España. Gremios y cofradías*. Madrid, 1947.

Seco de Lucena: «Origen islámico de los Gremios», en *Revista de Trabajo*, núm. 34. Madrid, 1942.

Segarra, E. *Los Gremios*. Barcelona, 1911.

Serra y Pickman, Carlos: *El Gremio de Carpinteros sevillanos*. Sevilla, 1937.

Uña y Sarthou, Joaquín: *Las Asociaciones Obreras en España*. Madrid, 1900.

Hormigón, estructura y forma de una nueva técnica en la arquitectura española de la primera mitad del siglo XX

Jesús Anaya Díaz

En el año 1867 Monier obtiene la primera patente de cemento armado ampliando el número de éstas hasta el año 1881. En 1886, el ingeniero alemán M.Koenen[1] fue el primero en sentar las bases de una teoría para el cálculo de las placas sistemas *Monier* y, a partir de ese momento, se propagan y divulgan los estudios y las construcciones de hormigón armado en Europa al mismo tiempo que Ernest L.Ransome y Tadeus Hyatt junto a Albert L.Kahn lo harán en Estados Unidos. Sin embargo, una asociación empresarial alemana, *Wayss & Freytag*, desarrollará una labor de construcción grande en Alemania, basada en los dispendiosos ensayos practicados, haciendo progresar en esos años las soluciones constructivas en hormigón.

Ensayos y construcciones serán el capital inicial de las empresas con patentes y en consecuencia el conocimiento sobre el que descansará la puesta en obra, inclinando a los teóricos a evolucionar en la aplicación de los cálculos como instrumentos de comprobación que se debían ajustar a los resultados de los ensayos y pruebas de carga, hacia una teoría general de la Mecánica Aplicada.

La evolución y desarrollo del cemento y del hormigón se producirá a lo largo del siglo XIX en cuatro países —Inglaterra, Francia, Alemania y Estados Unidos— influyendo de acuerdo a la adquisición de patentes y desarrollos empresariales a partir de los últimos años del siglo XIX y los primeros diez del XX en los países europeos limítrofes. Pero, avanzados estos años y hasta la primera Gran Guerra Europea, se desarrollan los sistemas de cálculo mecánico de distribución de esfuerzos en las piezas adjudicando con las distintas hipótesis las partes proporcionales de los estados terminales que asumirán hormigón y acero.

Los arquitectos se volcarán a una traducción de los sistemas estructurales tradicionales de madera y acero; al mismo tiempo que tratarán de buscar la coherencia constructiva y disposición estructural de la nueva técnica, es decir, de la retícula de hormigón que, al transfundirse en el cuerpo tradicional de fábrica, chocará frontalmente con la unidad estructura-forma y, en consecuencia, hará significativa la falta de coherencia entre fachada y estructura.

El uso de los cementos naturales descubierto por Parker en 1796 será la primera patente conocida como cemento inglés natural ó cemento romano. Previamente, en 1756, John Smeaton había descubierto que una determinada cantidad de arcilla en la composición de la piedra caliza podía servir como graduador en el empleo de la construcción hidráulica (cal hidraúlica). Posteriormente, ya en el siglo XIX Joseph Aspdin patentará en 1824 la palabra *Portland Cement* planteando en 1825 las bases para el establecimiento y creación de una factoría en Wakefield.

La producción de cemento en Inglaterra será limitada, por cuanto no se conocen las determinaciones comerciales de su uso, empleándose como material de acompañamiento con otros sistemas tradicionales de construcción. Enfoscados como acabados de protección en fábricas de piedra, conglomerantes en las

fábricas resistentes de túneles (M.J.Brunel. Thames Tunnel 1848), rigidizador de estructuras con arcos de ladrillo,[2] así como relleno y conexión entre estructuras metálicas y elementos murarios e incluso elementos de madera construidos como láminas para descargar en forma de arco sobre elementos lineales metálicos rellenos de hormigón sobre el conjunto (Patente Deunet 1857).

El dominio en esta primera mitad del siglo en lo que se refiere al conocimiento del cemento como material, se sitúa en Inglaterra desde donde viajará para instalarse definitivamente en Estados Unidos. Uno de los pioneros del hormigón en aquél país será Ernest L.Ransome. Su padre, Frederick Ransome, había desarrollado en 1844 en Inglaterra una patente de vaciado de losas con moldes de piedra artificial posteriormente hormigonados con armaduras de cercos metálicos. Será por tanto ese conocimiento europeo el que se exporte y con el que Ransome gerencie la primera empresa que utilizará el hormigón importándolo fundamentalmente de Inglaterra, la empresa será la *Pacific Stone Company of San Francisco* que dirigirá como superintendente por cuatro años desde 1870.

Ransome patentará diversas invenciones, fundamentando su trabajo práctico en los estudios teóricos modernos de Hyatt, quien en 1878 publica *An account of some experiments with Portland Cement Concrete combined with iron* y donde se establecen las hipótesis determinantes de la manera en que el acero debe resistir las tensiones de tracción, estableciendo el balance de las tensiones a compresión que resistirá el hormigón.

Hyatt se basará en los trabajos previos que un año antes 1877 había realizado con Thomas Rickets sobre rotura de *vigas de ensayo*, método que tardará mas de 20 años en desarrollarse y que se retomará en Alemania.

Esta dualidad planteada entre el camino americano del desarrollo del cemento y hormigón armado y el camino europeo se hace patente también en la diferencia de producción entre continentes. En 1898 se producen en el mundo 5.500.000 toneladas de Cemento *Portland* de los cuales 2.500.000 se producirán en Alemania y 300.000 toneladas, escasamente, en Estados Unidos, importando mas de 500.000 este país, de las que 250.000 serán de Alemania.[3]

En este sentido hay que recordar que el ingeniero alemán Pettenkofer publica en 1854 un análisis exacto del Cemento *Portland* basándose en investigaciones de laboratorio, quedando al descubierto el secreto de las fábricas inglesas en cuanto a la producción del material, dando origen a las primeras normas alemanas el 24 de febrero de 1877 sobre las especificaciones de los cementos y creando la asociación de fabricantes alemanes *Verein Deutscher Cement-Fabrikaten.*

El desfase de la industria americana de construcción no se equilibrará con los niveles de desarrollo europeo hasta el primer decenio del siglo XX. Las discrepancias en las exigencias técnicas de los distintos Estados de la Unión así como las especificaciones de ordenanza en las ciudades, desarrollarán los trabajos científicos sobre métodos y aplicaciones de cálculo que deberán ser sancionados con la aceptación de características del material por la *American Society for Testing Materials*, cuestión que se realizará en diciembre de 1909 y cuyos procedimientos de aplicación serán regulados de manera genérica para Estados Unidos por la *American Society of Civil Engineers* en enero de 1917.

A pesar de esta tardanza algunas ciudades establecen ordenanzas y reglamentos de construcción (*Building New York Code*, 1906). La reversión de conocimientos y procedimientos americanos a Europa, se producirá a través de la importación de maquinaria americana para la producción de cemento que, en competencia con la alemana e inglesa, se realizará en ese primer decenio del siglo XX.

En España se produce tal importación por la empresa catalana *Asland,*[4] propiedad del Conde Güell, lo que conlleva la difusión de patentes y sistemas de construcción americanos (metal *deployeé* de Golding, sistema *Ransome*, *Seta* ó *Melan*) y, en general, patentes cuya base se situará en la utilización e inclusión de elementos metálicos[5] chapas plegadas y alveoladas, láminas perforadas, estiradas, y sistemas de atirantados de losas y vigas cuyos orígenes son sistemas constructivos con acero, material de gran difusión en el último cuarto de siglo XIX americano. De otra parte, también darán paso a soluciones racionalizadoras de procesos tradicionales de construcción.

Rafael Guastavino, arquitecto y empresario español que patenta la bóveda catalana en Estados Unidos, también patentará en 1886 una losa de forjado formada por una bóveda catalana atirantada con un perfil laminado en su cuerda y este a su vez atiranta-

do con barras traccionadas y manguitos de tracción empotrados en los muros extremos de apoyo. Rellenando de hormigón sobre la bóveda hasta enrasar la cota del suelo.[6]

En 1855, en Europa, François Coignet obtiene la primera patente de techos de hormigón armado con armadura formada por barras de hierro cruzado. Esta patente (Francia e Inglaterra) establece las condiciones necesarias para el empleo del hormigón a gran escala, señalando el papel de refuerzo de los esqueletos o entramados metálicos dentro del cuerpo de la piedra artificial.

Sin embargo, Monier será considerado el precursor del hormigón armado en Francia, con la patente de sus jardineras de 1867, apareciendo en el mismo año en la Exposición Universal de París, numerosos elementos constructivos, vigas, bóvedas, tubos, etc. de su invención; sin embargo, los derechos iniciales de la patente prescribirán en 1876.

Desde 1867 que patenta sus jardineras, unos cubos obtenidos aplicando argamasa por ambas caras de una tela metálica (pesaban poco y ofrecían elevada resistencia), Monier obtendrá otras patentes, tuberías, paneles, puentes, escaleras, vigas y cubiertas, que serán desarrollos empíricos de un procedimiento de aplicación. La forma de los elementos constructivos señalada por los ejes trazados como una armadura metálica se recubre para establecer la rigidización o congelación de la misma, mostrando por tanto, un desconocimiento del comportamiento del material como hormigón armado. De esta conclusión, da idea el hecho, de que Monier, ante las muestras de los cambios y mejoras de Wayss, el ingeniero alemán que comprará los derechos de las patentes junto con Freytag en 1881, al mostrarle la separación de las armaduras situándolas cerca de la cara inferior una y otra en la superior de una losa, exclamó «¿Quién es el inventor usted o yo?».

Sin embargo, los derechos de su patente comprados por la sociedad *Wayss & Freytag*, juntamente con la razón social *Marteusteim y Josseaux de Ofenbach del Mein*, realizarán una gran cantidad de construcciones, algunas de las cuales se mostrarán en el texto divulgativo *Monierbau*, publicado en Munich, en 1887.[7]

La construcción con el nuevo material tomó un gran incremento en Alemania, Francia y Austria a partir del año 1890, desarrollándose hasta 1900. Puede decirse que no habrá tipo de construcción a excepción de grandes construcciones y puentes de luces considerables, que no se hubiesen intentado.

Este auge también será debido al impulso que habría dado la Asociación alemana del Hormigón (*Deutsche Betonverein*), procurando en unión de la administración pública, los medios de ensayo y experiencia que facilitaron la práctica del nuevo sistema constructivo.

En el año 1906, y por iniciativa de esta asociación, se creó la comisión alemana para el hormigón armado (*Deutsche Ausschuss für Eisenbeton*),[8] que desarrollará una labor investigadora y de ensayos, publicando una copiosa bibliografía orientativa y dando luz como resultado final en el año 1916, a las *Ordenanzas para la edificación en hormigón y hormigón armado* (*Bestimmugen für Ansführung von Bauwerken aus Beton hard Eisenbeton*.[9]

Tres son las patentes que Hennebique registrará desde 1892.[10] Su primera patente es la de una viga T en la que las armaduras se disponen en la cara inferior levantando algunas de ellas de la inferior a la superior, y doblando las armaduras para empotrarse en los extremos. Asimismo, unas pletinas dobladas en forma de U envuelven a la armadura inferior levantándose hacia la cara superior, a la manera de estribos sujetando ambas armaduras en las que secciones que existan se anclarán en el área de compresiones. La segunda patente, de 1894, trata de una losa de forjado aligerada. La tercera patente, fechada en 1898, serán unos pilotes prefabricados.

Hennebique desarrolla con el conjunto de sus patentes un sistema integral de construcción. Su concepción no es la de un entomólogo constructor, que disecciona elementos aislándolos y dotándoles de una significación constructiva según su mayor o menor facilidad de ser empleados en determinadas construcciones. Por el contrario, Hennebique plantea por primera vez un sistema completo, desde la cimentación hasta la cubierta, es decir, una forma constructiva autónoma.

El sistema muestra una jerarquización estructural, con losa, correas, vigas y soportes en unión monolítica determinando con el proceso constructivo la unidad mecánica y estructural pero, fundamentalmente su versatilidad, al mostrar un sistema de relación sin dimensiones ni localizaciones, afirmando una formulación operativa autónoma sin otra referencia que su autonomía resistente y estructural. Hennebique, junto con Consideré, pasarán a formar parte de la Comi-

sión Francesa para el empleo del hormigón armado creada en 1892.

Desde Diciembre de 1900, con las experiencias de la Exposición de París y bajo la dirección de M. Rabut, ingeniero que impartirá en la Ecole Polytechnique en 1897, el primer curso sobre hormigón, redactarán *Experiences sur la resistence et les deformations d'ouvrages construits por L'Exposition de 1900*, base de las que serán primeras normas europeas para el empleo del nuevo material. La *Circulaire Ministerielle Francaise sur l'emploi de betón armé* de 20 de octubre de 1906[11] será la primera normativa europea que sancionará los sistemas de cálculo y las fórmulas a emplear en el cálculo de deformaciones, esfuerzos y dimensiones de las piezas, de manera universal e independiente de la forma y patentes al uso. Se definirán también los coeficientes de seguridad, dándose valores a las variaciones térmicas y de volumen y variaciones de volumen resultante de la retracción.

Hay que tener en cuenta que los inventores de las patentes dominarán el uso y procedimientos a seguir con sus patentes, estableciendo una serie de métodos empíricos, así como, la orientación técnica y científica de teóricos como Wayss, Mazas, Coignet, Tedesco, Planat, Melan, Thullie, Siptzer, Emperger, Ritter y otros que indicarán procedimientos de cálculo para diversas construcciones de hierro y cemento, dando fórmulas que, aunque en hipótesis más o menos aproximadas, y que por tanto no tienen siempre una exactitud rigurosa, parecen conducir a unos resultados suficientemente en armonía con los hechos prácticos.

En España, Ricardo Martínez Unciti, ingeniero militar y arquitecto en enero de 1901 funda *El Cemento Armado*, revista mensual ilustrada de sus materiales y de sus aplicaciones civiles y militares en Madrid.

La revista de *Obras Públicas*, órgano editorial del cuerpo de Ingenieros de Caminos también desarrollará desde el primer año del siglo una labor de divulgación del material[12] en artículos de Eduardo Martínez y Ruiz de Aranza,[13] Gabriel Rebollo y uno de los ingenieros pioneros en nuestro país utilizando el hormigón armado como será José Eugenio Ribera.[14]

El periodo de las invenciones para el hormigón armado acabará, según Ransome,[15] en 1904 con la concesión de la patente a A. Consideré de un sistema de pilares zunchados helicoidalmente y cuyos resultados extrapolará a una armadura en forma de muelle en las zonas a compresión de las vigas.

En nuestro país, con el principio del siglo comenzará también un periodo de invenciones: Sistema *Ribera*, sistema *Unciti*, sistema *Jalvo*. Un ingeniero español destacará en este ambiente, José Eugenio Ribera, se situará entre aquellos que hicieron posible con sus invenciones el desarrollo e interpretaciones de las construcciones con hormigón armado. Profesor de la Escuela del cuerpo de Ingenieros de Caminos, que llegará a dirigir, patentará en 1901 un sistema propio de construcción con hormigón armado, el Sistema Ribera.

En España las patentes que se introducirán al comienzo del siglo XX serán las patentes de Metal Deployé cuya concesionaria, La *Compagnie du Metal Deployé* asentará sus talleres en Zorroza (Bilbao).

La patente de J.F.Golding de Chicago inicialmente usada para refuerzos de tabiques y cielos rasos se reconvertirá en Europa con el sistema Matrai que utilizará este material junto con armaduras para fabricar losas armadas y que en España será reutilizado por J.E. Ribera en su sistema. El sistema *Monier* explotado por la sociedad de Claudio Durán, establecida en Barcelona, en 1894.

A pesar de que en el país se desarrollarán otras patentes, sistema *Coignet*, *Dubois*, *Boussïron*, *Bona*, *Matrai*, *Bordenave* y el otro sistema español, sistema Unciti, un sistema que tendrá gran divulgación será él llamado *Poutre Dalle* cuya empresa concesionaria francesa, *Societé Generale de Ciments Portland* se constituirá en la Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao (Bilbao) y cuyo secretario general de la dirección será el ingeniero Enrique Colás, personalidad relevante dentro de las tendencias arquitectónicas renovadoras en el primer cuarto de siglo. Será un divulgador y teórico del hormigón armado[16] colaborando con arquitectos tan significativos ideológicamente como Luis Lacasa en proyectos como el concurso de la Compañía Arrendataria de Tabacos en 1925.[17]

Por último la patente Hennebique tendrá también un gran desarrollo siendo representada por José Eugenio Ribera con la que ejecutará numerosas obras hasta el año 1901 en el que dejará la dirección de la sociedad a Gabriel Rebollo para divulgar y construir con su sistema.[1.8]

Su obra anterior dedicada al estudio del acero y sus aplicaciones, analizando y construyendo puentes, fa-

ros y pilotajes metálicos sistema[19] también se situarán en la cabecera de los intereses técnicos europeos de la época, como demuestra la contemporaneidad de las instrucciones francesas para el empleo del acero y sus fórmulas de cálculo. Circulaire ministerielle de 9 juillet 1877, para puentes metálicos, una normativa que sintetizará con los criterios de calculo y de deformación de vigas y puentes, y que será la base de los sistemas posteriores de cálculo en hormigón, reutilizándose en muchos casos durante este primer periodo de las invenciones y hasta la circular francesa sobre hormigón de 1906 para él calculo de este material.

Entre Ribera y su discípulo Eduardo Torroja, que trabajará también en su oficina en los primeros años de profesión, constituyen los dos extremos de un proceso singular en España como es liderar con sus actuaciones y estudios, corrientes innovadoras en el ámbito europeo en el campo científico y técnico al mismo tiempo que desde sus posiciones de origen puramente tecnológicas, acercarán con sus ideas los nuevos procesos a la arquitectura del primer tercio de siglo y en la aplicación y el enfrentamiento con las soluciones arquitectónicas contemporáneas denotarán las contradicciones entre las tipologías tradicionales y la aplicación de las nuevas técnicas.

En el caso de José Eugenio Ribera, será la racionalización de los sistemas constructivos, valorando el uso del nuevo material como solución constructiva racionalista en cuanto la idoneidad del material se ajusta a las diversas exigencias de monolitismo, impermeabilidad, seguridad contra el fuego, durabilidad, y por tanto reinterpretando los organismos constructivos tradicionales en una traslación directa de material.

La idea de perfeccionamiento de los procesos es la que llevará a replantear a Ribera, las soluciones de las distintas patentes que utilizará considerando el armado de las vigas con armadura superior e inferior, diferenciándolas según su trabajo, uniendo ambas mediante un estribado en forma de lazo y añadiéndole como seguridad frente a los problemas de mala ejecución, metal deployé en sus caras laterales e inferior con su trama girada 45º respecto a la directriz, dándole continuidad a esta trama en las losas que proyecta.

Pero en todos los casos el acceso de las distintas soluciones se integrarán en un conjunto en el que el interés se situará en un perfeccionamiento del concepto de racionalización constructiva.

La otra vertiente de esta actitud ecléctica de José Eugenio Ribera será el enfrentamiento a la política del mercado que suponía la exigencia de pagos por los derechos de privilegios de los inventores elevándose al 10 por 100 del valor de los contratos, cantidad a la que se sumarán las comisiones de los egentes y las sociedades concesionarias que también se estimarán en otro 10 por 100, encareciendo finalmente el cemento armado y el hormigón.

El dominio de los procedimientos y las exigencias económicas dominarán el panorama constructivo y la aplicación del nuevo material, durante mas de 15 años. Ribera liberará a la construcción de las limitaciones de las patentes como sistemas que determinarán soluciones constructivas rígidas al mismo tiempo que determinantes de la forma final.

La producción de Ribera reflejará a lo largo de los últimos años del siglo XIX y comienzos del XX, el tipo de construcciones que tendrán más difusión, asi como las diversas fórmulas de adaptación de las nuevas técnicas en la producción arquitectónica española.

Es un periodo que podemos situar entre los años 1890-1914 con las primeras experiencias de aplicaciones en España del hormigón armado realizadas por el ingeniero de caminos Nicolau, quien construyó traviesas para ferrocarril, formadas por prismas de hormigón, armadas con carriles viejos, siguiendo las soluciones de la patente Coignet, y a la que siguieron inmediatamente las aplicaciones del arquitecto Claudio Durán y el ingeniero militar Francisco Maciá con el sistema Monier, construyendo depósitos para líquidos como principal realización.

En estos años las construcciones más comunes serán de tipo industrial: depósitos de líquidos, silos de grano, construcciones fabriles, centrales eléctricas, talleres, etc, al tiempo que se comienzan a producir ciertas traducciones de material en construcciones de edificios públicos.

La construcción de depósitos y silos permitirá poner en práctica a Ribera la construcción de la retícula de hormigón como técnica, evolucionando ésta con las variaciones geométricas, cargas y usos, al mismo tiempo que ensayará algunas interpretaciones formales como en los silos para cemento de la fábrica Tudela Vegin (en Asturias) del año 1900, o la Fábrica de Harinas de Badajoz de 1900, donde la retícula de vigas y pilares se manifestará de manera limpia en fachada y donde las paredes del edificio formadas

por el entramado tabicarán con ladrillos, los huecos incluyendo las ventanas en los paramentos.

En el campo de las obras civiles, Ribera conciliará tecnologías de distinta procedencia en una técnica nueva. El proyecto del puente de las Segadas (Oviedo)[20] y un puente en Mieres, señalan uno de los momentos más relevantes en la idea y aplicación de sus ideas, se trata de dos puentes de arcos triarticulados cuyo proyecto interpretará las soluciones de las construcciones metálicas en las que dichos arcos servirán de apoyo al viaducto de soporte también construido en hormigón armado y que junto a las articulaciones diseñadas en hierro fundido, se encofrarán con los arcos, cubriendo la mayor luz hasta ese momento en España de 50 metros.

Esta traducción de material interpretará a su vez una traslación de tipologías estructurales que sancionarán los nuevos valores del material, monolitismo y esbeltez, es decir simplificación de las estructuras.

En el año 1903 se funda la revista *La Construcción Moderna*, una revista quincenal de Arquitectura e Ingeniería según se subtitulará con sede en Madrid y que dirigirá hasta el año 1933 el ingeniero militar Eduardo Gallego. Aparece esta publicación como se manifiesta en la editorial de cabecera habida cuenta «... que el número de publicaciones científicas que en España existen sea relativamente pequeño, y que éstas, en su totalidad, necesitan ser órgano de cuerpo determinado, para asegurar las más perentorias necesidades».

La revista que encabezará su publicación con un artículo del ingeniero militar José Marva Mayer, uno de los teóricos que más trabajará en el desarrollo científico y técnico del final del siglo XIX y comienzo del XX[21] sobre el conocimiento de materiales, será plataforma de las experiencias con materiales nuevos y las aplicaciones innovadoras, de presentación de patentes y la labor de construcción sobre todo en el ámbito madrileño desde el punto de vista técnico.

Eduardo Gallego se proyecta como un propagandista de las nuevas técnicas, (medio ambientales, higienismo, nuevos materiales, etc.) y en especial en difusor de las técnicas del cemento armado. Impulso que llevará a cabo en estos años a través de la asociación con el también ingeniero de caminos José García Benítez, dirigiendo ambos la *Sociedad Aplicaciones de la Ingeniería.*

Los artículos publicados oscilan desde las noticias de lo construido, hasta el análisis técnico y matemático de los sistemas constructivos utilizados, o los nuevos que aparecen en el mercado. La comparación del cálculo dimensional confrontando patentes y fórmulas, o tablas y ábacos ofrecidos por la industria del ramo, servirán también para esclarecer el panorama industrial del país, así como establecerá criterios operativos con los sistemas ofertados por éstas industrias.

En 1902 se publica el proyecto ganador del *Concurso de Proyecto de Casas Económicas, Higiénicas e Incombustibles para Obreros.*[22] El proyecto presenta una edificación de 5.00×6.25 m con dos plantas y una terraza accesible. La imagen es sorprendente para el ambiente español. Presenta un *modelo*, una estructura reticular sin decoración alguna compuesta por cuatro pilares principales y ocho más pequeños que partiendo las luces de los paramentos, ayudarán a construir el acceso exterior y escaleras. Los huecos que deja la estructura, se rellenarán con un muro de ladrillo donde se sitúan los huecos de ventana, que aprovecharán como cargaderos las vigas de planta. La planta es libre totalmente, el esquema funcional se representará a línea simple.

La imagen del modelo se muestra como un todo autónomo, en el que las líneas de estructura de los pilares secundarios de menor tamaño, unen las piezas tanto horizontales como verticales, dando unidad a cada paramento, a partir de la filosofía del hormigón zunchado, de la que son partidarios sus autores. Pero fundamentalmente lo que se destila es la independencia entre estructura y fachada, al mismo tiempo que ésta, la retícula, se manifiesta como un elemento significativo de la forma, es decir, del modelo.

El 8 de abril de 1905 se produce el hundimiento de las cubiertas del tercer Depósito del Canal de Lozoya, de bóvedas de hormigón parabólicas rebajadas al 1/10, con un espesor de 0.05 metros en la clave y 0.10 en el arranque, que apoyadas sobre pilares de 0.25x0.25 m y 8.50 metros de altura, salvaban una luz de 5.77 metros.

El proyecto y construcción es de José Eugenio Ribera que dirige la *Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles.*

A partir de esta fecha, la construcción en cemento armado u hormigón decrecerá de manera importante, inclinando la trayectoria de las ofertas con el material, hacia el higienismo el uso del material como

piedra modelable en fachadas, recuperando los suelos de viguería metálica la confianza a flexión que se retira al hormigón.

Dando la espalda a estas experiencias, una serie de ingenieros[23] mantendrán el interés por acercar sus estudios sobre mecánica a la comprensión del comportamiento del material, mientras que se reeditarán textos,[24] clásicos de consulta como el Manual del Constructor de Seco de la Garza, recuperando la fiabilidad de las fórmulas clásicas utilizadas a finales del XIX, o el texto por cuarta vez reeditado, Mecánica Aplicada a las Construcciones de José Marvá,[25] 1909. Profesionales como Enrique Colás[26] defenderán sin embargo el uso del hormigón por su maleabilidad, en un intento de mantener la producción de cemento en el país. La discusión sobre los accidentes y hundimientos de las construcciones de hormigón tomará el interés de muchos ingenieros y arquitectos, Emperger o Bassegoda,[27] en España, analizarán los problemas de las empresas concesionarias, encareciendo con comisiones las contratas, rebajando los cuidados del trabajo, habida cuenta del alza del precio de la mano de obra, e incluso la variación y achicamiento de las secciones y dimensionados de las piezas como manifestaciones económicas frente a los sistemas tradicionales de construcción, y la competencia en la adquisición de los contratos de construcción.

Autores como Bassegoda, echarán también de menos la indeterminación de los coeficientes de trabajo del hormigón y el hierro, así como la todavía indeterminada fibra neutra para secciones heterogéneas ó no uniformes.[28]

En este ambiente, se publicará una obra que fundamentará en España las técnicas científicas propias para el hormigón armado. Es el texto de Juan Manuel Zafra, ingeniero de caminos, «Construcciones de Hormigón Armado»,[29] quien inaugurará la clase de Construcciones en hormigón armado en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid.

En el texto, Zafra define su posición universalista respecto a las condiciones y características técnicas que debe cumplir el hormigón, «... Para nosotros no hay mas que un solo sistema: el de poner armadura donde y en la forma que un estudio atento de las deformaciones de cada pieza, ha de sufrir por su trabajo propio y por su enlace con las contiguas, revela que el hormigón necesita ayuda. Este sistema no es de nadie y es de todos los que saben mecánica aplicada a la construcción...».

Se reivindica así el derecho de uso y aplicación libre de la técnica, liberando a ésta de los derechos de propiedad de los particulares y las patentes, y frente a las soluciones constructivas de las patentes basadas, en formulaciones empíricas, interpretaciones de hipótesis simples mecánicas, o reinterpretaciones mas o menos racionalistas de soluciones constructivas basadas en las tecnologías de otros materiales, Zafra define la sección resistente como una solución autónoma del sistema constructivo utilizado y de su forma.

La situación de la construcción con hormigón armado en 1913 es de paro casi total, según señala E. Gallego,[30] solamente algunas realizaciones singulares como el edificio del Fénix en la Gran Vía Madrileña, el Palacio del Hielo óalgunas construcciones de teatros, Teatro Reina Victoria en San Sebastián se llevarán a cabo.[31]

Una imagen nueva aparece en el ambiente arquitectónico español, los proyectos de Teodoro Anasagasti, tanto los que presenta en la Exposición Nacional de Bellas Artes en mayo de 1912, o el monumento a S.M. la Reina María Cristina en San Sebastián, avanzan ideas de formas singulares cuyo denominador común es mostrarse con el mismo carácter que Juan Manuel Zafra señalaba para el hormigón, es decir un material sin juntas, un material continuo. Las perspectivas de las construcciones donde abundan elevadas torres y limpias volumetrías no muestran explícitamente su ser constructivo, pero el apiramidado de los paramentos, los acabados redondeados, nos recuerdan su origen en un material fluido y moldeable, al tiempo que las explícitas esbelteces de las torres nos revelan un organismo constructivo que las estabiliza, alejándose de las limitadas posibilidades para esas condiciones dimensionales aparentes de soluciones tradicionales en estructuras murarias.

Este primer periodo en el desarrollo de la aplicación técnica del hormigón armado en España podemos considerar que toca a su fin en el año 1914, al comenzar la gran Guerra Europea en la que España al no tener participación y con la caída importante de la producción industrial y de las industrias de materiales en Europa, se multiplicarán las necesidades de fabricación y de exportación.Terminada esta etapa, una revalorización del hormigón como material de construcción económico se extenderá entre técnicos y empresarios.[32] El esfuerzo normativo y orientador que en los dos últimos años realizan técnicos y teóri-

cos para generalizar los procesos de cálculo sobre hipótesis matemáticas fiables se completarán con una nueva serie de publicaciones cabo[33] en favor de las características del material. En casi todas ellas se insinua un principio que Juan Capmany, ingeniero que desarrolla una labor amplia de construcciones en Cataluña al frente de la *Compañía Pavimentos y Construcciones*, enunciará así: «abogamos por el consorcio de la expresión matemática y la forma estructural».[34]

En el año 1905 se crea una compañía, la sociedad *Miró Trepat y Cía,* que se transformara en *Pavimentos y Construcciones*. En el cuadro técnico, Juan Capmany será ingeniero jefe de la oficina técnica y los arquitectos Lluis Homs, director tecnico y Eduardo Ferres Puig director artístico, completando dicho cuadro ingenieros industriales, arquitectos y otros especialistas.[35]

La compañía construirá obra civil, construcciones industriales y edificación. Serán las primeras especialidades las que tendrán un desarrollo mayor desde el año 1910 al 1914 las construcciones que llevarán a cabo en este tiempo son una excepción tanto para el ambiente catalán como para el resto del país, fundamentando su obra en fórmulas cintíficas muy contrastadas.[36] Por una parte, por la variedad de tipologías que se interpretarán con la aplicación de la nueva técnica y de otra porque será la estructura reticular de hormigón el instrumento que las posibilitará.

La libertad que ofrecerán los programas de edificaciones industriales sin imposiciones ni compromisos formales y expresivos previos, permitirán todo un conjunto de soluciones derivadas directamente de las soluciones constructivas.

La simplificación constructiva en el desarrollo de las tipologías por una parte y de otra una tendencia hacia el elementalismo estructural, se manifestarán tanto en el espacio interior como en las fachadas, incluyendo en el lenguaje expresivo de éstas la estructura, cuyo sustento formal se presentará como la imagen de las patentes.

Así pues, la estructura comenzará a tomar relevancia en la definición de la forma. En esta dirección, destacará una personalidad de manera sobresaliente por sus realizaciones y que si bien no ha tenido presencia en las historiografías oficiales suponemos se debe al encuadramiento en el amplio cuadro técnico de ingenieros y arquitectos de la compañía *Pavimentos y Construcciones*; se trata del arquitecto Eduardo Ferrés Puig cuya actividad más destacable la llevará a cabo en un lapso de tiempo pequeño, del año 1909 hasta los años veinte.

Ferrés, como director artístico de la compañía, será el encargado de traducir formalmente una serie de soluciones partiendo de supuestos meramente técnicos, económicos y empresariales en el caso de los proyectos de fábricas, depósitos, silos, etc. con un lenguaje constructivo, al mismo tiempo que la representación decorativa y la figuración perderán entidad para sobreponerse en una cierta abstracción geométrica cuya base dimensional será establecida por el mecanismo estructural.

Aplicará en el proyecto de casas aquellos principios que utiliza en las construcciones industriales construyendo las fachadas con la propia estructura. Manifestando también los vuelos de cuerpos de edificación, tanto en balcones como en *bow window* o torreones de manera acusada. Los huecos no mantendrán la primacía del decoro y frente al valor del orden dimensional de la estructura quedarán relegados a formas negativas haciendo corresponder el valor de la forma con las líneas de construcción.

El proyecto en el que Ferrés sintetizará sus interpretaciones de aplicación del nuevo material será en los *Almacenes Damiáns*, suponen un singular episodio en la construcción de la arquitectura española del primer tercio del siglo XX porque en la solución de Eduardo Ferrés, el análisis más somero de la fachada, nos da una incontestable respuesta sobre los criterios constructivos y arquitectónicos, al mismo tiempo que nos adelanta la génesis estructural explícitamente. Un solo pórtico de tres vanos, uno central mayor construido con cuatro pilares sostienen una serie de bandejas horizontales.

A excepción de las líneas de estructura, el edificio es un plano contínuo de vidrio, los huecos se ajustan en todos sus bordes a los de la estructura, sirviendo esas líneas como base de una exquisita valoración decorativa.

En el interior la contundencia dimensional de las vigas jácenas principales enmarcará las líneas fluidas de borde de losas y escaleras sobre las que se apoyan, creando así una clara unidad espacial la continuidad en altura de las losas horizontales. Las losas horizontales de planta parecen doblarse y convertirse en losas de escalera apoyándose exclusivamente en la retícula principal, afirmando material y estructuralmente su monolitismo y unidad estructural.

En suma, frente a las soluciones de camuflaje o aquellas otras en las que una tipología tradicional constructiva se transformará por partes, metamorfoseando soluciones de elementos constructivos por las de las patentes con el nuevo material, obteniendo una robotizada y rígida unión de soluciones disímiles, Ferrés propondrá la estructura reticular de hormigón como un todo constructivo, fundamento de la expresión formal y base constructiva de la arquitectura, hecho que en el ambiente español será una de las primeras y mas radicales interpretaciones de la nueva técnica en la Arquitectura de la primera mitad del siglo XX.

Notas

1. Koenen, M.: *Centralblatt der Bauvervaltung*. 1902. Avanzará el primer método racional de cálculo en 1886, estableciendo en mayo de 1902, con la publicación de sus hipótesis de cálculo, la línea neutra (Straight Line Formula).
2. Ransome, E.: *Basic Patents for Inventions relating to reinforced concrete and short survey of the early history of art*, Alexis Saurbrey. McGraw-Hill Book Company. New York, 1912.
3. Vacchelli, J.: *Las Construcciones de hormigón y de cemento armado*. Romo y Füsell Editores. Madrid, 1903.
4. Las Fábricas de Cemento de la Compañía General de Asfaltos Portland Asland Barcelona. *La Construcción Moderna* Enero de 1921. *Cementos*. Revista editada por la Compañía de Asfaltos y Portland Asland, 1921
5. Ransome, E.: Saurberry, A.: *Op.cit.*
6. Guastavino, R.: *Essay on the theory and history of cohesive construction*. Boston, 1893.
7. Kayser, H.: *Hormigón Armado*. Editorial Labor. Buenos Aires, 1926.
8. *Comisión Alemana del Hormigón Armado (Deutscher Ausschuss für Eisenbeton)* cuyas publicaciones regularán a partir de 1910 las influencias de las piezas de hormigón armado de los fenómenos de variación de volumen de hormigón y las tensiones internas debidas al fraguado y a la temperatura.
9. Graf. *Zeitschrift da Vereins deutscher Ingenieure*, 1912.
10. Hennebique *Ferro-Concrete Theory and Practice*. L.G. Mouchel & Partners. Ltd. London, 1909.
11. Braive, J.; Mesnager, A. *Aide-memoire de l'ingenieur-constructeur de betón armé*. H.Dunod et E.Pinat. Editeurs. Paris, 1914.
12. Pardo, M.: *Materiales de Construcción*. Madrid, 1879.
13. Vachelli, J.: *op. cit.*, p.8
14. Boncorps, C.: «Cálculos de Estabilidad del Hormigón y el Cemento Armado. Anuales des Chemins Vicinaux 1899». *Revista de Obras Públicas*. Enero de 1900.
15. Ransome, E.: *Reinforced Concrete Biuldings*. McGraw Hill Book Company. New York, 1912.
16. Colas Hontan, E.: «Hacia la nueva estética». *Rev. Arquitectura nº18*. Madrid octubre de 1918
17. «Conscurso de Tabacalera». *Revista Arquitectura nº80*. Madrid, diciembre de 1925.
18. Ribera, J. E.: *Hormigón y Cemento Armado – Mi sistema y mis obras*. Imprenta de Ricardo Rojas. Madrid, 1902.
19. Ribera, J. E. «Estudio sobre el empleo del acero en los puentes». *Revista de obras públicas nº 7,9,10*. Madrid, 1896. Tomo I.
20. Ribera, J. E.: «Puente de las Cegadas». *Revista de Obras Públicas, nº 18 / 25*. Abril de 1901.
21. Marvá Mayer, J. «Los materiales de construcción y los laboratorios de ensayo». *La Construcción Moderna, nº 1*. Madrid, 1903.
22. Gallego, M.; G.Benítez, J.: «Proyecto de Casas Económicas, Higiénicas e Incombustibles para Obreros». *La Construcción Moderna*. Madrid. Abril de 1903.
23. Gallego, E.: *Colección Estudios y Tanteos. 10 tomos. Cemento Armado Cálculo y Construcción. Tomo VI. Cemento Armado. Aplicaciones Prácticas. Tomo VII.* Imprenta de Juán Pueyo. Madrid, 1917.
24. Martínez Unciti, R.: *Mecánica aplicada al Cemento Armado*. Madrid, 1904. Imp. Julián Palacios.
25. Marvá Mayer, J.: *Mecánica aplicada a las construcciones*. Imprenta y litografía de Julián Palacios. Madrid, 1888.
26. Colás, E.: «¿A qué es debido el desarrollo de las obras de hormigón y cemento armado?». *La Construcción Moderna*. Madrid, agosto de 1905.
27. Emperger, M. Fr. «Accidentes en las construcciones de hormigón armado». *La Construcción Moderna*. Septiembre de 1909. Bassegoda, J. «El cemento armado en la Arquitectura». *La Construcción Moderna*. Mayo de 1911.
28. En España solo se dispondrá de las *Instrucciones Reglamentarias para el empleo del cemento armado*, redactadas por el laboratorio de materiales de ingenieros, aprobadas en 1912 inspiradas en la Circular Prusiana de abril de 1904.
29. Zafra, J. M.: *Construcciones de Hormigón Armado*. Imprenta de Vicente Tordesillas. Madrid, 1911. (Método para el cálculode Estructuras derivado del trabajo elástico.)
30. Gallego, E.: «El hormigón armado y la construcción en Madrid». *La Construcción Moderna*. Madrid., febrero de 1913.
31. Sainz de los Terreros, L.: «La edificación en Madrid durante el año 1914». *La Construcción Moderna*, enero de 1915.

32. Augros, P.: *Beton Armè, Possibilités Techniques et Architecturales*. Ch. Massin et c´ie, Editeurs. Paris, 1926.
33. Emperger, F.: *Handbuch für Eisenbeton*. Gebrüder Ernst. Berlin, 1912. *(Tratado de las Construcciones de hormigón armado)*; Zafra, J.M.: *Cálculo de Estructuras*. Tomo I., 1915; *Cálculo de Estructuras*. Tomo II, 1916.
34. Capmany, J.: «La arquitectura del hormigón armado». *La Construcción Moderna*, septiembre de 1914.
35. Capmany, J.: «El hormigón armado en España». *Revista de arquitectura nº 9-10*.
36. Tedesco, M.: *Calcul du ciment armé sans formules algebraiques*. Editions du constructeur de ciment armé. Paris, 1921.

Las geometrías de las estructuras abovedadas

Marcello D'Anselmo

Un recorrido por la Historia de la Arquitectura, analizando los elementos constructivos en conexión con las cubiertas, muestra una estrecha correlación con los acontecimientos que, de manera paradigmática, han marcado la Historia de los pueblos y cómo ésta guarda inferencias entre los diferentes ámbitos, téoricos y prácticos, de las diferentes disciplinas.

Sin extendernos en el desarrollo histórico de las estructuras abovedadas, pero teniendo en consideración los elementos que han inspirado las construcciones, será necesario tener en cuenta, como dato obvio, que las estructuras pueden entenderse como pertenecientes a las dos clases siguientes: estructuras resistentes por masa y estructuras resistentes por forma.

Por motivos evidentes, en esta exposición habremos de excluir las referencias relativas a las estructuras resistentes por masa; las estructuras resistentes por forma, precisamente porque su resistencia depende de la forma que adquieren en la realidad de la construcción histórica y en las hipótesis y concepciones que las contienen, remiten, necesariamente, a los signos que permiten representar lo que todavía no se da o se ha dado ya como perteneciente a la Historia de la Arquitectura.

La variedad y complejidad de las estructuras abovedadas induce a cuestionar sus posibilidades resistentes, desde diversos puntos de vista; esta investigación sólo se puede realizar mediante una interpretación articulada de las tipologías más habituales y de sus variantes. Sin embargo, el hecho de que el patrimonio edilicio histórico tan sólo se haya dado a conocer en contadas ocasiones, para la persecución de este fin será condición prioritaria y obligada realizar un análisis que integre de las descripciones que los tratados y los manuales recogen de diversas formas de las estructuras abovedadas con los diferentes ejemplos realizaciones del patrimonio edilicio.

Para obtener las indispensables reducciones a esquemas y tipos, y compara e interpretar sus correspondientes ejemplos, es necesario realizar una concisa selección de ellos. Por lo tanto, tales esquemas resultan menos abundantes que los numerosos ejemplos que derivan de una interpretación analítica de la realidad de la construcción histórica.

Cuando la geometría de las estructuras abovedadas es sencilla, por ejemplo, cuando se trata de arcos, es decir cuando son geometrías planas, con tan solo unos pocos elementos se pueden describir sistemas abovedados que, si bien presentan formas y materiales diferentes, son atribuibles a curvaturas y centros de curvatura fácilmente reconocibles. Sin embargo, en el caso de las estructuras abovedades espaciales, la determinación de sus características y su descrpción así como su descripción exigen de un mayor cuidado a la hora de analizar las leyes constitutivas que han regido su materialización.

Un código de interpretación que permite establecer una clasificación suficientemente sencilla de las estructuras abovedadas espaciales, interpretadas como superficies laminares, es el que se basa en la

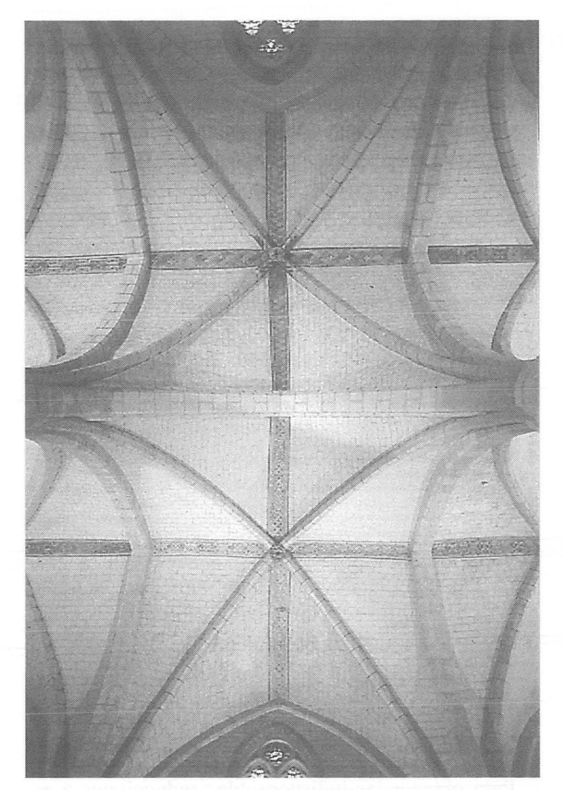


Figura 1

curvatura de Gauss. Esta curvatura vincula el producto de las dos curvaturas principales medidas en correspondencia de un punto genérico perteneciente a la superficie media de la lámina.

En el caso en que una superficie laminar curva presente, en correspondencia de uno de sus puntos, una curvatura del mismo signo en cualquiera de las direcciones consideradas, ésta se define *sinclástica* en aquél punto y su curva de Gauss será de signo positivo. La lámina de revolución es un típico representante de las superficies laminares sinclásticas. Las superficies sinclásticas no son superficies *desarrollables;* por contra, se puede desarrollar la superficie laminar por la cual la curva, en correspondencia de un punto, aunque admita el mismo signo en todas las direcciones, resulte nula en una determinada dirección. En este caso la superficie considerada presenta curvatura de Gauss nula; la superficie cilíndrica, por ejemplo, es una superficie desarrollable en todos sus puntos.

En el caso en que la superficie laminar curva admita, en correspondencia de uno de sus puntos y contemporáneamente, dos curvaturas de signo opuesto en referencia a dos direcciones distintas, ésta se define, en correspondencia de ese punto, *anticlástica* o *de ensillado,* con la consiguiente curvatura de Gauss de signo negativo. Al igual que las superficies sinclásticas, tampoco se pueden desarrollar las superficies anticlásticas.

Otro código de interpretación, aparentemente un poco más sencillo, y que tiene como finalidad una clasificación diferente de las superficies laminares curvas, la da el modo con el que éstas se crean. Los procesos fundamentales que crean las superficies de lámina curva se pueden clasificar de esta manera:

a) por rotación o por revolución de una curva directriz alrededor de un eje fijo;
b) por translación de una directriz, tanto rectilínea como curvilínea, a lo largo de una generatriz, rectilínea o curvilínea, casi siempre perteneciente a un plano ortogonal al que pertenece la directriz;
c) por translación de una directriz, tanto rectilínea como curvilínea, que se apoya en dos líneas, curvas o rectas, planas u oblicuas y que en cualquier caso están orientadas en el espacio.

Hay que subrayar que, si se quisiera centrar la atención en las estructuras abovedadas que han marcado la arquitectura realizada con materiales y técnicas tradicionales, es decir, excluyendo los materiales modernos como el hormigón armado y el acero, sería bastante evidente que sólo las estructuras abovedadas que tienen curva de Gauss equivalente a cero o mayor de cero serían el objeto de dicha atención. Ello porque, en función a las leyes relativas al comportamiento mecánico de las estructuras, hasta que no se descubrieron los nuevos materiales, no era posible realizar estructuras abovedadas cuya forma evidenciara una resistencia por masa. Las estructuras resistentes por forma sólo pueden existir en caso de haber sido realizadas con materiales tradicionales, por tanto, vinculadas a los valores positivos o nulos de la curva de Gauss.

En resumen; se puede afirmar, sin ninguna duda, que las estructuras abovedadas que se realizaron con anterioridad al siglo XIX son comparables a superficies sinclásticas. Esta observación lleva a optar por la clasificación de Gauss como alternativa a la relativa

al modo en que éstas se generan, ya que resulta más evidente la determinación de los períodos históricos que, gracias al descubrimiento de los nuevos materiales y de la puesta a punto de nuevas técnicas de producción y elaboración, han permitido el tránsito de una época a otra. La segunda clasificación describe de manera más analítica los elementos geométricos que determinan las estructuras abovedadas; en tal caso, se produce una especie de simbiosis entre los elementos geométricos, directriz-generatriz, descripciones de la forma estructural y los procedimientos de construcción que permiten realizarla.

En cualquier caso, antes de plantear otras consideraciones sobre las estructuras resistentes por forma, será útil detenerlos en las más sencillas de ellas. El arco es un elemento de construcción que ha provocado notables desarrollos en la Historia de la Arquitectura; dejando a un lado la cuestión de sus orígenes, cabe señalar que éste es la respuesta a un problema que el hombre se ha planteado desde siempre, tanto cuando quería marcar una pared, natural o artificial, con vanos, como cuando quería superar un obstáculo natural, un río o un precipicio, mediante estructuras más sólidas de las que probablemente, y con razón, se pueden considerar las primeras estructuras suspendidas; en el segundo caso en especial, pero también en el primero, se manifiesta *una actividad humana que viola la intangibilidad del cosmos para unir lo que está dividido en la naturaleza.*

El arco ha sido, y lo es aún, la primera gran invención que, optimizando los recorridos de las fuerzas que desde las cotas más elevadas de una construcción alcanzan los cimientos, ha permitido desviar los esfuerzos a los muros de manera, satisfaciendo las exigencias de los pueblos de épocas muy diversas; sobre todo, ha permitido descodificar las concepciones espaciales de quienes lo han utilizado. Actualmente, es fácil afirmar la lo anteriormente indicado: el arco resiste por forma, ésto es, considerándolo con un grosor no infinitésimo, una porción de superficie de una lámina que tiene una curva nula en una dirección y, por lo tanto, una superficie con curvatura de Gauss igual a cero. Por ello, se puede desarrollar en el plano, pero ésto conlleva el hecho de que la longitud del rectángulo obtenido, en el caso en que se trate de un arco de medio punto y se considere la superficie de desarrollo de la superficie de intradós, es igual a aproximadamente una vez y media la abertura de un arquitrabe correspondiente realizado con un material genérico. Pero el arquitrabe de piedra o de madera que marca la construcción tradicional no puede soportar cargas excedentes que dificultan la capacidad de resistencia; los resultados formales y, por lo tanto, las geometrías de la arquitectura realizada con materiales tradicionales, estarían condicionados, como de hecho ha sucedido.

Además, el arquitrabe está necesariamente realizado con un elemento monolítico, piedra o madera, a diferencia del arco, que puede realizarse con un material discreto como la arcilla o la piedra elaborada en sillares de diferentes dimensiones y formas. Por lo tanto, lo que en un principio parecía una deseconomía, es decir, la relación entre la longitud de la superficie de intradós del arco y su proyección en el plano horizontal, resulta, en realidad, la condición que genera la superación de los límites impuestos tanto por la resistencia de los materiales como por la posibilidad de elaboración de los mismos.

La subdivisión de la materia utilizada en las construcciones otorga a los muros, tanto planos como curvos, una mayor maleabilidad respecto a las realizadas con sillares megalíticos, estableciendo una premisa que concretiza desarrollos condicionados, no tanto por la resistencia de los materiales sino por como las fuerzas actuando en un sillar se trasladan al que se encuentra debajo de éste.

Teóricamente, si el mortero no uniera las juntas, dado que se trata de sillares cuyas superficies de contacto son completamente lisas, podríamos determinar que la capacidad portante de una sillería de este tipo podría permitir la realización de estructuras que se elevan cientos de metros; pero no es así, tanto porque los muros normalmente se realizan utilizando mortero, lo que reduce la capacidad portante, como porque entran en juego otros factores de naturaleza técnica y de construcción.

Realmente, la mampostería es un material compuesto como el hormigón, aunque muy poco resistente a tracción; se podría definir un *no sólido* parecido a un hilo de lana, como afirma S. di Pasquale, o un material no controlable mecánicamente como afirma A. Giuffré.

Lo más fascinante de lo que hasta ahora se ha afirmado es la síntesis existente entre ciencia, técnica y construcción. Las observaciones efectuadas atañen al reconocimiento de los diferentes tipos de estructuras abovedadas, que vienen dados por las formalizaciones teóricas que fueron codificadas mucho más tarde

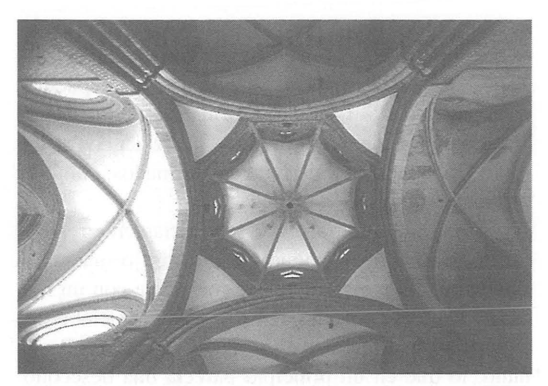


Figura 2

de que se hiciera efectiva la construcción de las estructuras abovedadas.

Sin duda, en el pasado, la construcción de una estructura abovedada puso en juego más conocimientos técnicos que científicos, más práctica que ciencia. En efecto, si se quisieran analizar las estructuras abovedadas con los instrumentos y los códigos de interpretación que se disponen en la actualidad, se podría decir que muchas de esas estructuras se pueden atribuir a formas y por lo tanto geometrías, que mal representan las leyes de la mecánica; A menudo, encontramos situaciones en las que la estabilidad de una bóveda o de una cúpula se remite a factores poco ponderables pero que coparticipando materializan lo que la lectura unívoca de la ciencia pondría en crisis.

Todo lo anteriormente dicho, nos lleva necesariamente a efectuar análisis más exhaustivos del patrimonio histórico construido, y, sobre todo, nos obliga a actuar valorando las peculiaridades, tanto las más manifiestas como las menos evidentes, para captar las correlaciones intrínsecas.

La identificación de una bóveda o de una cúpula se puede efectuar inmediatamente mediante consideraciones geométricas, aunque resulta más complejo establecer la relación que ha habido en las diferentes épocas entre la tradición constructiva y los conocimientos técnicos. Sin duda, durante muchos siglos, la tradición, entendida como transmisión de la experiencia constructiva acumulada por un pueblo, ha representado todo el patrimonio técnico que, seleccionado y enriquecido precisamente por las experiencias concretas en la construcción, ha permitido enfrentar y resolver los problemas de la edificación.

Con el nacimiento del mundo moderno, la tradición, basada en la experiencia transmisible, cada vez pierde más consistencia y se establece un clima especulativo fundado sobre el experimento repetible sostenido por proposiciones científicas que tienen un valor demostrativo.

Dejando a un lado las consideraciones sobre el arco, nos referiremos a la bóveda de cañón como el conjunto de muchos arcos unidos. El tratamiento estático de la bóveda de medio cañón, al menos hasta el siglo XVII, se efectuaba mediante la utilización de reglas geométricas; el mismo Rondelet con respecto a este argumento afirma: «se ha empezado tardísimo a sentir la necesidad de someter el problema del equilibrio de las bóvedas a las leyes de la Mecánica. Parece que los antiguos arquitectos, como los de la época del renacimiento, no estuvieran guiados por principios ciertos y geométricos a la búsqueda de los medios empleados para asegurar la solidez de varias partes de sus edificios, y en especial de las bóvedas. La experiencia, la imitación, y una mecánica natural les servían de guía…»; de este modo, se creía que estructuras geométricamente similares tenían las mismas propiedades estáticas, debido a que la práctica constructiva estaba relacionada con un código formal que se aplicaba independientemente de las dimensiones, como afirma el mismo L.B. Alberti a propósito del arco de medio punto que habría tenido que mostrar la máxima estabilidad.

En sustancia, Alberti y otros tratadistas remiten a la geometría la definición de la forma de las bóvedas y de las proporciones de los elementos constructivos de manera que la estática y la estética se configuran en un cuerpo único de principios.

Obviamente, ésto no es cierto. Una regla constructiva con sólo proporciones no puede existir; además, desde el punto de vista teórico, no puede conciliarse con construcciones cuyas dimensiones implosionan o se extienden desmedidamente. Pero es verdad que aún hoy en día es difícil comprender las normas o reglas seguidas por los constructores de catedrales góticas para dimensionar sus obras, aunque algunas indicaciones han sido dadas por Viollet Le Duc y, últimamente, por A. Giuffré; también resultan evidentes las aportaciones de investigadores como L. da Vinci, de La Hire, de Belidor, Couplet, C. Bossut, L. Salimbeni, C. Coulomb, L. Mascheroni y otros que han contribuido a transformar lo que antes se veía como un problema de proyecto en uno de verifica-

ción; el paso del proyecto a la verificación ocupará, de manera más consistente, a los científicos a partir del siglo XIX con los resultados que ya conocemos.

Pero no podemos decantarnos exclusivamente por a favor un análisis desde el punto de vista mecánico. Al contrario; la Historia de la Construcción no se puede interpretar sólo desde el punto de vista de los esquemas estructurales y de los algoritmos matemáticos; ésta, más allá de las construcciones más importantes y significativas de las que se conoce bien su importancia, muestra construcciones realizadas con materiales tradicionales que se presentan de manera muy variada y que, desde el punto de vista mecánico, son muy difíciles de descodificar.

Así, las geometrías que caracterizan las estructuras abovedadas, desde la más sencilla bóveda de arista a las más complejas bóvedas sobre pechinas o claustrales, también son complejas y, un análisis exhaustivo de los existentes en diversas zonas evidenciará la extremada riqueza y variedad de ejemplares. Baste considerar las estructuras abovedadas del sur de Italia. Geometrías que contienen elementos arquitectónicos de indudable valor testimonial que, dadas las condiciones y la consistencia de las estructuras abovedadas existentes, no pueden ser considerados desde un único punto de vista o reducirse a esquemas simples. Éstos no pueden analizarse con algoritmos matemáticos que difícilmente responden al comportamiento real que tienen con respecto a las acciones a las que se someten.

El mismo V. Le Duc, cuando afirma que *no hay superficie, por irregular que sea, que no se pueda cubrir sin dificultad...*, corrobora que las formas arquitectónicas, con una geometría cualquiera, se pueden realizar sin ninguna limitación; dicha afirmación, de hecho, representa la consistencia real de la construcción histórica, pero también, y por derecho, la casi ilimitada posibilidad proyectual que hoy se ofrece a los arquitectos dependiendo de los adelantos que se han logrado en el campo de la ciencia y de la técnica.

También es cierto, como indica Musil, que *en los malos tiempos se pueden hacer casas horribles y horribles poesías siguiendo los mismos y bellísimos principios de los buenos tiempos...*, y ésto permite volver a observar los principios, las reglas de la geometría y de las ciencias en general como un universo al que nos podemos referir pero sin tender a una elección que prevalezca instrumentalmente, reduciendo la complejidad, la riqueza de la construcción histórica.

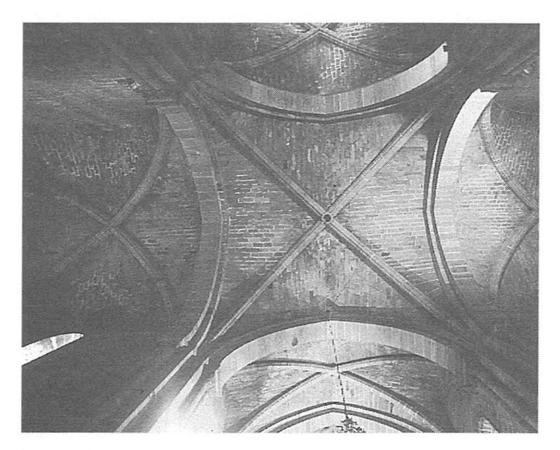


Figura 3

En la arquitectura histórica, no hay estructuras abovedadas de formas incorrectas y, aunque las hubiera habido, el tiempo transcurrido desde su construcción habría evidenciado el estado precario y las debilidades intrínsecas; las obras históricas que nos han llegado han superado la prueba del tiempo. Tenemos el deber de conservarlas, pero para ello es necesario efectuar una interpretación de las mismas que pueda sacar a la luz las leyes constitutivas que las generaron. En realidad ésto avala al hecho de que, aunque los estudios de la mecánica, nueva ciencia introducida por G. Galilei con la finalidad de sustituir la regla geométrica para el dimensionamiento de las estructuras, alcanzaron una gran difusión, el proceso de la Historia de la Construcción tuvo lugar con mayor lentitud, por lo menos en todas aquellas construcciones que marcan el territorio de manera casi sumisa, pero que también contribuyen a comprender mejor la Historia de los pueblos.

Además, frecuentemente, a partir de las mediciones y análisis efectuados en estas estructuras, se descubre que hay una perfecta concordancia entre verificaciones estáticas de tipo gráfico y las realizadas con procedimientos analíticos, lo que confirma que los principios y las reglas de la construcción premoderna no son unívocos y que, si existió el arte de construir, que ha sido sustituido por la ciencia de las construcciones, éste necesariamente debía poseer un repertorio de leyes y reglas que permitían obrar bien. Hay

que hacerse cargo, tarea no de poca importancia, de las leyes y reglas que aún hoy no se han descubierto completamente.

Bibliografía

Arcolao, C.: *Le ricette del restauro.* Ed. Marsilio, Venezia, 1998.

Crotti, S.: «Il ponte tra retorica e logica», *Casabella,* num. 469, Gruppo Editoriale Electa, Milano, 1981, pp. 10-16.

D'Anselmo, M.: «The building characteristics of wallings historical edificies», *Atti del III Congresso Internacional de Rehabilitacion del Patrimonio Arquitectonico y Edificacion,* Pardo-Espinosa-Zezza Editori, Granada, 1996, pp. 217-220.

Di Pasquale, S.: «Fondamenti di meccanica delle murature», in *Il progetto di restauro e i suoi strumenti.* Ed. Il Cardo. Venezia, 1995.

Fancelli, P.: «Tecnica e tecnologia nell'architettura dell'ottocento», *Atti del quarto seminario di storia delle scienze e delle tecniche,* Istituto veneto di scienze, lettere ed arti, Venezia, 1998, pp. 221-242.

Giuffre', A.: *Meccanica delle murature storiche.* Ed. Kappa. Roma, 1998.

Musil, R.: *L'uomo senza qualità.* Ed. Einaudi. Torino, 1982.

Pizzetti, G.: Zorgno trisciuoglio, A. M.: *Principi statici e forme strutturali.* Ed. Utet. Torino, 1980.

Rondelet, G.: *Trattato Teorico e Pratico dell'Arte di Edificare.* Società Editrice. Mantova, 1834.

Viollet le Duc, E.: *L'architettura ragionata* (a cura di Crippa M.A.). Jaca Book. Milano, 1982.

Análisis constructivo de las ruinas romanas de Mérida, realizado por Fernando Rodríguez (1794-1797)

Silvia Arbaiza Blanco-Soler
Mª del Mar González Martínez
Mª Victoria del Pozo González

La ciudad de Mérida, capital de la provincia de Lusitania en época romana, ha sido lugar de interés por parte de viajeros y estudiosos a lo largo de los siglos debido a la riqueza artística que encierra. Son numerosos los escritos que sobre Emérita Augusta han sido elaborados. Gracias a Céan Bermúdez[1] sabemos que Gaspar Barreiro visitó la ciudad hacia 1546 y que Felipe II lo hizo junto con Juan de Herrera en 1580. Años más tarde Bernabé Moreno de Vargas realizaría un estudio científico sobre ella tomando nota de los restos del Templo de Diana, que saldría publicado en 1633 bajo el título *Historia de la ciudad de Mérida*.[2]

En 1753, a partir de la propuesta formulada por la Academia de la Historia al rey Fernando VI, el académico Luis José Vélez marcharía a la ciudad acompañado del delineador Esteban Rodríguez, con el fin de realizar 20 dibujos de los monumentos más importantes. Posteriormente, tenemos constancia del abandono que sufre la urbe a través de Antonio Ponz, académico de San Fernando que describió la riqueza de Mérida en el tomo VIII de su *Viage a España*, obra que saldría a la luz en 1784.[3] Diez años más tarde el anticuario portugués Manuel de Villena realizó nuevas excavaciones, lo mismo que Fernando Rodríguez, maestro de obras que durante tres años consecutivos hizo el levantamiento de las ruinas de la ciudad centrándose fundamentalmente en su aspecto constructivo, lo que motivó que la Comisión de Arquitectura se encontrase con un gran paradigma a la hora de pronunciar su dictamen acerca del mérito artístico de sus dibujos «Cuya mas apreciable circunstancia debe consistir en la puntual medición, y en ciertas investigaciones indispensables en el Arte practicadas sobre el terreno».[4]

A los estudios de Rodríguez le siguieron entre otros los de José Cornoide en 1804 y los de Andrés Gómez de Somorrostro en 1820, canónigo quien en su *obra El Acueducto y otras antigüedades de Segovia*, aprovechó la oportunidad para cotejar la obra segoviana con otras antiguas de su clase.[5]

Los diseños de Rodríguez, elaborados entre 1794 y 1797, son un interesante documento gráfico de la construcción romana, en el que se analizan edificios y obras de muy diversa índole: religiosas, ingenieriles, civiles, recreativas y conmemorativas. A lo largo de 61 dibujos el autor describe el estado de conservación en que encontró los mismos, incluso en los diseños que dedica al *Puente de Trajano sobre el río Aljuzen*, representa las plantas que habían crecido en las juntas de sus sillares causando su ruina, para delinear seguidamente la reconstrucción ideal del propio puente. Asimismo, aporta algunas apreciaciones personales en cuanto al carácter original de algunos edificios, a partir del análisis de los restos encontrados.

Cuando Fernando Rodríguez visitó la ciudad para elaborar su estudio arqueológico, la ciudad de Mérida se hallaba descuidada y con una población aproximada de 800 vecinos, frente a los más de 6.000 [6] que había tenido en época romana, no obstante, el vestigio de su antigua grandeza seguía presente en sus numerosas y variadas ruinas que en nada tenían que envidiar a las de Pompeya o Herculano.

Entre los edificios recreativos estudiados se encuentran el teatro, el anfiteatro y el circo. El teatro (A-5922) estaba construido aprovechando el desnivel de la ladera del cerro de San Albín y tenía como uso el ser un garbanzal o lugar de siembra de cebada. Lo encontró en parte enterrado y revestido de sillería, siendo su material base el hormigón romano. Inmediato a él estaba el anfiteatro o naumaquia (A-5923) (lugar donde se representaban batallas navales), término con el que se conoció desde el siglo XVI basándose en su aspecto de foso y en la proximidad de algunos tramos de acueducto, pero que volvería a su denominación original a partir de 1919 tras subsanarse el error. Rodríguez mantenía la hipótesis de la naumaquia, a razón de que «Le entrava dos famosos Acueductos de Agua los que permanecen en el dia». El circo (A-5929), ubicado a las afueras de la ciudad en dirección a Levante, estaba destinado a las carreras de caballos y había tenido una capacidad para 30.000 espectadores. Realizó una serie de excavaciones descubriendo la existencia de una división desde el pavimento hasta los palcos altos, y en cada división un cañón de bóveda que salía al plano del circo. Describió su fábrica como «... de manposteria de piedra con mezcla de Arena gruesa y abundancia de Cal á eszepcion de los machones y Arcos de fachada dentro del Circo de los espresados cañones que son de silleria». Estas tres obras cayeron en el abandono a partir de la oficialización del cristianismo, siendo aprovechadas sus estructuras posteriormente como cantera para la realización de otras nuevas.

Cuando se proyectó Emérita, uno de los problemas que se plantearon fue la relativa al suministro de agua para satisfacer las necesidades de la población, de ahí que se construyeran embalses y se llevase a cabo la canalización de diversos manantiales a fin de hacer llegar el agua a la ciudad. Estas obras no pasaron desapercibidas para Rodríguez. A unos 500 pasos al oeste de la urbe, en un lugar conocido como Esparragalejo, halló una charca o laguna en buen estado de conservación (A-5953 y A-5954) que se nutría de varios arroyos y contenía un muro de contención con una sección de líneas curvas en forma de nichos al exterior que se correspondían al interior con unos machones de gran fortaleza en forma de talud. El interior estaba revestido de argamasa muy dura travamentada con el cuerpo del muro, y por encima de éste y al interior unos arcos de sillares pequeños elevados, los cuales aportaban al muro mayor resistencia.

La *Laguna de Prosderpian* (A-5955 y A-5956), tradicionalmente conocida como charca de la Albuero o charca de Carijo, cumplía entonces la misma finalidad para la que había sido concebida. Con una capacidad para 3,5 millones de m^3 y un perímetro de 5 Km., contenía un suntuoso muro con una altura máxima de 21,60 m. de traza quebrada, constituido por dos paramentos que contenían entre ellos una fábrica de hormigón de cal (opus caementicium), fábrica que Rodríguez describe como de «de silleria la parte que vaña el Agua, à escarpa con dos pulgadas de retiro en cada ilada ó carrera. El espesor es de manposteria de piedra y cal, tan solida que en el dia no se advierte la menor filtracion, acompañado con un terraplen construido a tongada de piedra y tierra apisonada con una espaciosa llanura sirviendo de camino R^l. a las Castillas. Las dos Cajas de escalera para el uso de las llaves, en los casos de dos Agua para fertilizar la Rivera, como tanvie las alcantarillas i cambijas, son de silleria». En una inscripción observó la dedicatoria de la obra a la diosa Proserpina, en la que se amenazaba con los demonios a quien la ensuciase, destruyese o despreciase.

La *Charca de Araya* (A-5957 y A-5958), ubicada a tres cuartos de la ciudad, fertilizaba una campiña con arbolado. Aunque casi inservible, el muro de contención se encontraba en buen estado de conservación, siendo su fábrica de mampostería de piedra incierta con fuerte mezcla de cal y tapiales allí donde estaba el cauce, a excepción de los estribos de la fachada exterior y el buzón que era de sillería. Asimismo, el autor apreció la existencia de revoco a base de una mezcla de cal y ladrillo molido cuyos restos le pareció ser de «dos dedos de costra, permaneciendo lo q^e. en el dia a quedado un genero de vetún encarnado tan lustroso, como si en el dia se huviera acabado de hazer».

A 15 km. al N.E de Mérida encontró la *Charca de* Cornalvo (A-5959 y A-5960*)*, laguna profunda, donde se levantaba un muro de contención de gran originalidad y composición, que le indujo a pensar que allí se habían celebrado juegos náuticos en tiempos pasados. En forma de talud, se extendía a lo largo de 200 m. a una altura de 18 m., todo él construido por un núcleo interno de fuerte argamasa de piedra incierta de poco grosor con mezcla de cal y arena gruesa de mucha consistencia, revestido con sillares y sillarejos de granito (figura 1).

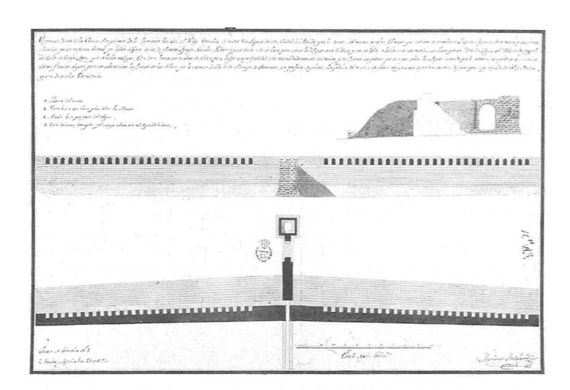


Figura 1
Charca *de Cornalvo* (A-5960).

Las conducciones de aguas provenientes de arroyos, ríos y embalses penetraban por las montañas antes de volver a aflorar en valles y llanuras a través de los acueductos. Entre ellos cabría mencionar el llamado de *Los Milagros* (A-5963 y A-5964), el cual se iniciaba en el embalse de Proserpina y tomó su nombre muy posiblemente por el equilibrio de sus pilares arruinados. A través de 12 km. realizaba un recorrido con muchos recovecos a fin de buscar la suavidad del terreno y salvar los desniveles, desniveles que eran solventados por arquerías de dos pisos debido a su elevada altura. La excesiva esbeltez de los arcos se contrarrestaba mediante arcos tirantes o de entibo y el reforzamiento de las pilas con estribos frontales de plantas cruciformes. Su fábrica estaba constituida a base de núcleos de hormigón romano, ladrillo en bóvedas y pilas formando fajas de 5 verdugadas, contando con que el ladrillo mantenía las dimensiones de 40 a 42 ¥ 5 o 7 de grosor o canto; contrafuertes de sillares almohadillados sin alternancia de ladrillo hasta la altura del penúltimo arco y a partir de aquel con la misma composición que el resto del pilar, y a la altura del último arco la sustitución del sillar por una argamasa de piedra incierta, misma solución que se adoptaba en el canalillo, éste de 90 ¥ 30 cm.

Otro de los acueductos a destacar era el de *San Lázaro* (A-5965), el cual conducía sus aguas a la naumaquia, teatro y termas, procediendo éstas de los ramales del Borbollón y Navilla. Apreció que estaba formado por un relleno de mampostería de piedra incierta en la parte superior de los arcos y en el espacio que por el desnivel del terreno no podía construirse arquería alguna. También por sillería y sillares almohadillados en la parte baja, que alternaban con verdugadas de ladrillo; arcos con este mismo material, excepto dos de sillares almohadillados, y una capa de argamasa encima de los arcos bajos y en el canalillo abovedado (figura 2). El ladrillo figuraba tan sólo como material de recalzo, hábito que pasó casi sistemáticamente a las fortalezas islámicas como la del Conventual emeritense.

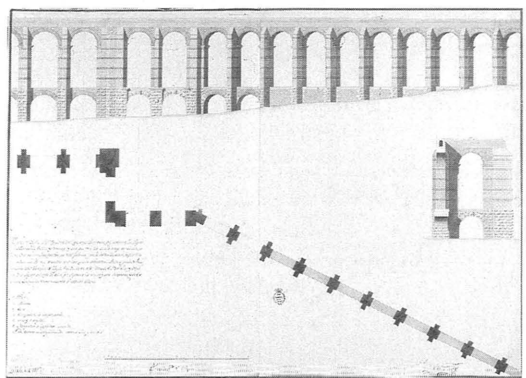


Figura 2
Acueducto de *San Lázaro* (A-5965).

El maestro de obras estudió igualmente un *Trozo de acueducto a extramuros de la ciudad, en la Carrera Real* (A-5920), de 148 pies de largo y construido con sillares almohadillados y lisos, combinados con verdugadas de ladrillo y arcos de este mismo material. Estas características son apreciativas en otro trozo de acueducto (A-5921) que contenía 36 pilares, muchos de ellos medios y otros enteros al haberse arruinado la mayoría de ellos. Del mismo modo señala la existencia de otro acueducto que denomina de agua dulce (A-5962), el cual considera una de las construcciones más singulares de la ciudad. Teniendo su origen a tres cuartos de legua, vio que estaba construido sobre firme, con paredes de argamasa hechas en cajones de madera y que por donde pasaba el agua tenía una línea de sillares. Asimismo que el «cañón de bóveda es de piedra menuda i cal cerrándose la clave con ladrillo rematado con un pie de argamasa encima. Las canbixas son de sillería».

Tan importantes como las obras anteriores eran los puentes y calzadas, sobre todo teniendo en cuenta

que la ciudad era el centro de una importante red de comunicaciones del Oeste de la Península Ibérica. Este tipo de obras eran conocidas por Rodríguez pues tenemos constancia que en 1785 había proyectado varios dibujos para ejecutar un puente sobre el río Matachel debido al «infeliz estado» en que se encontraban las villas de Zarza, y Alange al no poder acudir sus vecinos a las labores del campo sin sufrir desgracias. Finalmente, el plan y las condiciones elaborados por el maestro fueron inaceptables por parte de la Academia de San Fernando, la cual vio que los planos no estaban arreglados al sitio y no tenían la capacidad necesaria para el tránsito de las aguas, eligiéndo en su lugar al profesor Manuel Machuca como futuro ejecutor de la obra, a quien se le indicó la necesidad de construir dicha obra con piedra berroqueña, 18 pies de luz y de modo que fuese suficiente para el tránsito de 2 carruajes a un tiempo.[7]

Entre los puentes emeritenses diseñados por Rodríguez tenemos el *Puente romano sobre el Guadiana* (A-5975), cuyo origen eran dos puentes que aprovecharon una isleta en el medio del cauce del río dividiendo su curso en dos. Con una longitud de 792 m. de largo y 12 m. de alto vio que estaba construido con un núcleo de hormigón romano revestido de sillares almohadillados. Constaba de 60 arcos con aliviaderos entre ellos y pilares originales que disponían de tajamares redondeados aguas arriba. Por el medio descubrió *La plaza de comercio* (A-5951), obra robusta que pensaba había sido construida para dividir las aguas en tiempo de inundaciones, cortando su fuerza, y a su vez como espacio recreativo o plaza de comercio. Halló su fábrica «de manposteria de piedra incierta, ezepto el corta mar que es de silleria con grapas de Yerro. La fachada esterior que mira a la Ciudad es toda como lo demuestra el trozo diseñado. Las porciones del pavimento que se hallan dentro de la Plaza es de fuerte argamasa o almendrado de pie i quarto de grueso. En la parte que ocupan los Cinco Arcos modernos de la Puente fue cerrado con muro por allarse claros incicios.» También levantó el *Puente sobre el arroyo Albarregas* (A-5969), de la misma época que el anterior. Marcaba la salida de la ciudad por el norte y por él discurría la calzada de *La Plata*. Formado por 4 ojos y 2 aliviaderos en el extremo inmediato a la ciudad, estaba ejecutado con sillares rústicos en las fachadas y en la parte de los arcos, mientras que eran lisos los de la bóveda y el pretil. Halló las rampas ejecutadas con mampostería de piedra y cal formando gruesas paredes con estribos, y el empedrado con «pedernal crecido».

Es interesante el estudio que lleva a cabo sobre *el Puente del Vulgo Trajano sobre el río Aljuzen* (A-5966 y A-5967) situado a tres leguas de la ciudad, el cual formaba parte de la vía militar que conducía a Salamanca y Castilla. Por entonces se encontraba en un estado de ruina avanzado, principalmente en la fachada de los tajamares debido a las encinas, fresnos y otros árboles que se habían criado en sus juntas, no hallando otro género de fábrica que no fuese sillería (figura 3). Del mismo modo, los diseños que elabora del *Puente sobre un arroyo permanente de varios acueductos antiguos ya perdidos* (A-5968), cuya *fábrica* «es de silleria; la boveda de ladrillo de vuen tamaño; El aconpañado es de manposteria de piedra y fuerte mezcla de cal y arena gruesa», apareciendo sus sillares unidos con grapas de hierro (figura 4).

No podía pasarle desapercibido el *Puente de Alcántara* sobre el río Tajo (del A-5972 al A-5974), construido en tiempos de Trajano y ubicado en el camino hacia Portugal, Sevilla y Cádiz, en un lugar rocoso y escabroso de pizarra dura de gran profundidad. Quedó impresionado de la perfecta conservación de sus sillares de piedra berroqueña almohadillada, pues no advirtió en ellos la menor quiebra ni defecto de su primera construcción. Apreció los tajamares de los 3 pilares centrales y las formas rectangulares y cuadradas de los del resto; también la exis-

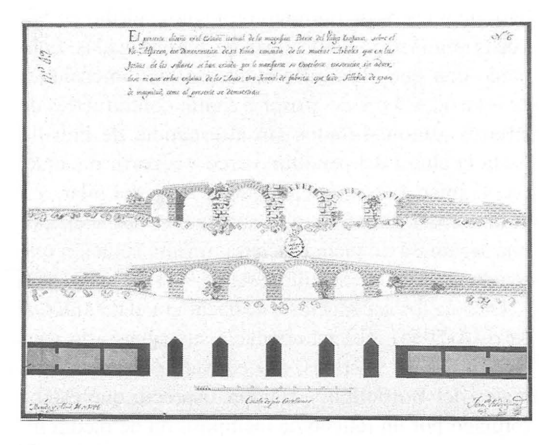


Figura 3
Puente del *Vulgo Trajano* sobre el río Aljuzen (A-5966)

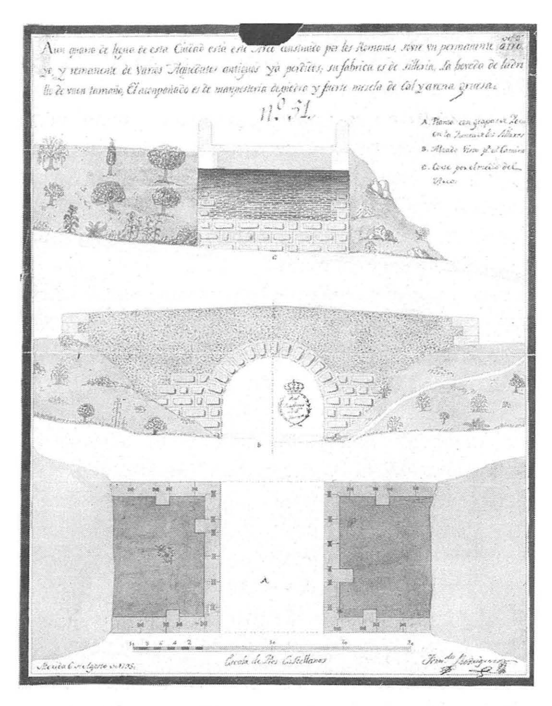


Figura 4
Puente sobre un arroyo permanente de varios acueductos antiguos ya perdidos (A-5968)

tencia de nichos en la parte superior de las pilastras, quizás como lugar para la ubicación de estatuas, así como una fortaleza en la entrada y la *Torre del Águila* en el centro del puente. Tampoco dejó de visitar el *Puente sobre el río Tajo llamado Mantible, en el sitio de Alconetar* (del A-3638 al A-3640) a dieciocho leguas distante de Mérida y directo al camino real de Salamanca y Castilla. La obra, que encontró en su mayoría derruida, tan sólo conservaba en pie parte de las capas sobresaliendo del agua y el resto de las piedras diseminadas, amontonadas por los alrededores o dentro del agua, no obstante, pudo comprobar sus fábricas exteriores e interiores de sillares unidos con grapas de hierro en el sistema de cola de milano y el almohadillado que proporcionaba gran robustez. Para el autor «Entera sería de las mas hermosas Puentes del Reyno».

Igualmente destacable es el diseño que realiza demostrando el *Perímetro rectangular de la ciudad* (A-5961), perfectamente delimitado por la muralla, en el que representa las cuatro puertas o vías de entrada y salida coincidiendo con los ejes vertical y horizontal, es decir, con el cardo y decumanos. Quedan presentes la puerta norte que daba acceso a la vía principal que iba a Salamanca y Zaragoza; pasado el puente Albarregas, la bifurcación al oeste en dirección a Burgos; de la puerta oeste la vía con dirección a Lisboa, Sevilla y Cádiz, y de la puerta este la vía con dirección a Córdoba. La construcción de algunos caminos reales le pareció asombrosa «sacados desde el firme y construidos à tongadas, poniendo la primera de piedra incierta como de veinte libras y enrrasada con tierra mezclada con arena iapisonada, sigue la segunda tongada como de quince libras y con este òrden de disminución, remata en lomo un almendrado, sin mas ligazón que el apisonado y el orden dicho». El *Camino de La Plata* (A-5924 y A-5925), que iba a Salamanca y Zaragoza, fue diseñado de manera detallada de la siguiente manera: «... abierta la zanja del ancho competente, de principio con una tongada de piedra incierta, siendo la linea lateral de maior manitud, i cubierta esta con tierra apisonada le sigue otra tongada de piedra de menor tamaño retirando hacia dentro las laterales, (...) Y cubierta esta con tierra apisonada, sigue con este òrden hasta azér la lomada, y como medio pie, remata en almendrado, construido, de greda, arena iguijarro menudo, fuertemente apisonado» (figura 5).

El muro de contención de la muralla bañada por el río Guadiana (A-5970) fue medido en 2.360 pies de línea, siendo de mucha rusticidad y fortaleza. A

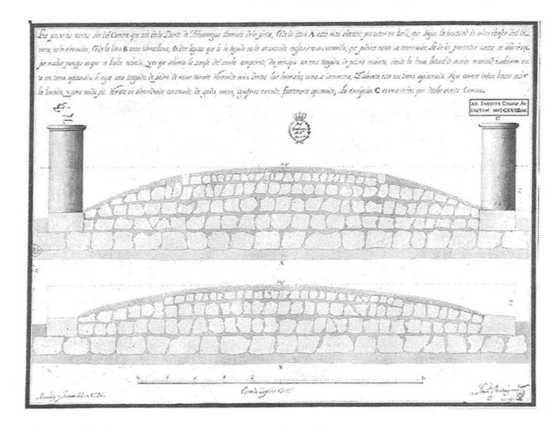


Figura 5
El *Camino de La Plata* (A-5925)

él iban a parar los desagües de las alcantarillas o cloacas de la ciudad y su fábrica fue definida por el autor como de «silleria de grande magnitud por la parte del Agua, con grapas de Yerro en sus juntas (...), lo demás del espesor del muro, ès de manposteria menuda de piedra y mezcla de auna parte de cal otra de arena gruesa; Encima de esta silleria corría la muralla del zerco de la Ciudad, de manposteria conzertada de fuerte árgamasa su espesor, como se demuestra en muchos trozos que en el dia permanecen» (figura 6).

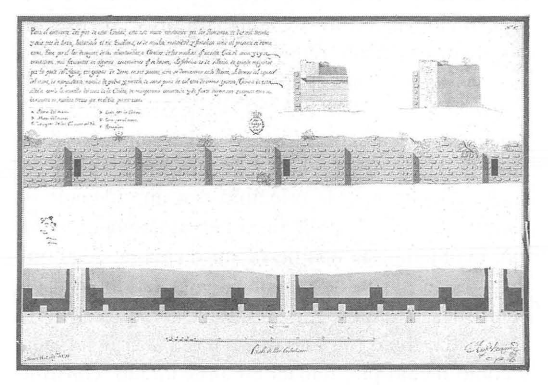


Figura 6
El muro de contención de la muralla bañada por el río Guadiana (A-5970)

manadero de aguas cálidas. A través de unos encañados de plomo se hacía conducir el agua que era tomada por innumerables «achacosos» de muchas partes de la provincia. El edificio era de «manposteria de piedra incierta, con excelente mezcla de cal y Arena. Y lo mas singular es, que las bovedas, Arcos, Cornisas, y medias naranjas son de lanchas de guijarros amanera de ladrillo, tan rica^{te}. construído que parece haberse hecho a torno».

Faltan por mencionar tres obras sumamente destacables. Una responde a los *Restos de un edificio hallados en los corrales de una casa situada en la calle de* «Vaños», *que podrían ser termas* (A-5936 y A-5937), cuya fábrica es de piedra incierta menuda con mezcla de cal y arena muy fuerte, y sus fachadas exteriores de sillería de gran magnitud, con grapas de hierro en todas las juntas (figura 7). Otra representa unos edificios contiguos a orillas del río Guadiana, destinados a alfarería y adobería (A-5931 y A-5932) por la existencia de pedazos de vasijas de barro blanco «duro y campanil al sonido» que parecían de metal, en los que apreció la existencia de restos de revoco realizados con una mezcla dura y roja muy permanente que parecían ser del día, paredes de mampostería de piedra incierta con verdugadas de ladrillo de un cuarto de pie de grueso, así como estanques y pilonos del mismo argamasado menudo. La tercera se trata de una *Fábrica para purificar o fundir metales, situada en los montes, a dos leguas de la ciudad* (del A-5938 al A-5940), obra en la que hace

Además de las obras señaladas, levantó un *Suntuoso arco de triunfo dentro de la ciudad* (A-5919), de 15 m. de altura, 9 de luz y 13 de ancho, con dovelas unidas a hueso, que hoy se conoce no fue un monumento conmemorativo sino una puerta situada en la vía cardo. También varios cipos sepulcrales (A-5926, A-5927; diversos sepulcros (A-5930), tres capiteles y un arquitrabe, algunos de ellos ubicados en la *Ermita de Santa Eulalia* (A-5928); una *Pirámide de fino mármol, de cuatro piedras ubicadas en el Arrabal de la ciudad en medio de una alameda* (A-5918); el *Templo de Júpiter* (del A-5941 al A-5943), una *Casa o villa de recreo a 800 pasos, extramuros de la ciudad* (A-5944 y A-5945); *el Templo jurídico o casa tribunal* (A-5946 y A-5947), y una *Casa de baños en la villa de Alange* (del A-5948 al A-5950) a 800 pasos de la villa, situada en la parte del mediodía de un cerro bastante petroso y a 115 pies de distancia de un

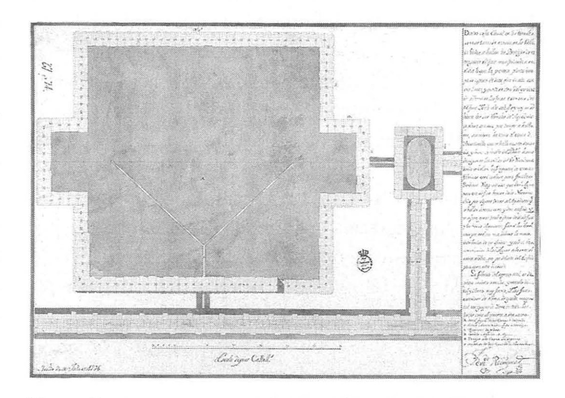


Figura 7
Restos de un edificio hallados en los corrales de una casa situada en la calle de «Vaños», que podrían ser termas (A-5936)

hincapié en las cubiertas (bóvedas de arista o de media naranja con casetones) con sus respiraderos de humo, en dos depósitos de agua comunicados entre sí por un acueducto de barro de 1 pie de diámetro y en su fábrica, constituida en ladrillo y mampostería «de fortísima mezcla de Cal, y Arena Una hilada de sillarejo y otra de ladrillo» (figura 8). Por último, cabría destacar una obra que no era completamente romana, ya que tenía también parte de goda y musulmana, al apreciarse el aprovechamiento de materiales de construcciones anteriores. Nos referimos al *Aljibe musulmán y una sala de recreo situados dentro de la fortaleza conocida como El Conventual* (del A-5933 al A-5935), utilizado para usos domésticos y para las abluciones del oratorio. Cuando Rodríguez visitó la obra residía en el recinto el Previsor de la Orden de Santiago, residencia que ocupaba parte de lo que había sido fortaleza romana. Se encontró con un aljibe de planta rectangular de 7,50 ¥ 3,80 m.[8] que se alimentaba de las aguas del Guadiana, las cuales se filtraban a través de la antigua muralla. Reprodujo sobre el papel la escalera de doble rampa que bajaba muy suave y sólida hasta encontrar el agua del río; también un estanque sobre los vanos de la escalera, un cilindro hueco por donde subía el agua de la planta baja soterrada a la alta a través de una máquina; un salón de recreo con estufa, y en el alzado unas pilastras de mármol reaprovechadas de algún edificio visigodo, según Rodríguez góticas, y un gran capitel romano.

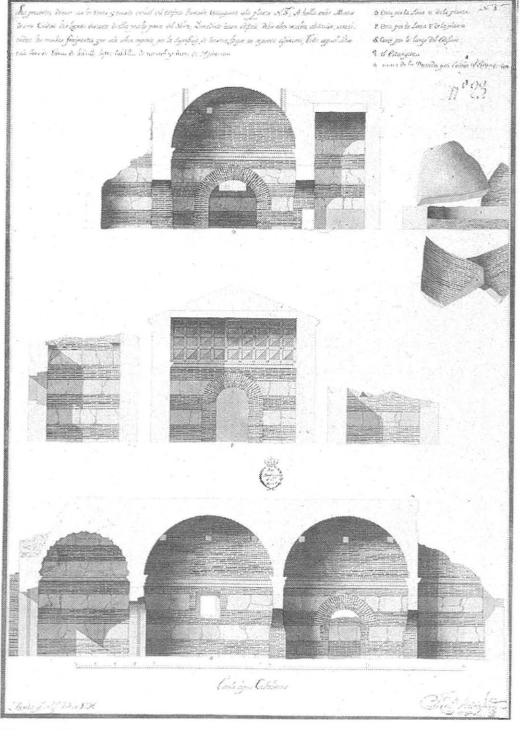


Figura 8
Fábrica para purificar o fundir metales, situada en los montes, a dos leguas de la ciudad (A-5940)

A estos diseños de Mérida hay que aunar los que conserva la Academia de este mismo autor y que fueron realizados como pruebas de examen para recibirse en la clase de maestro de obras: una *Casa para un señor de lugar, con cómoda habitación para él y su familia y oficinas necesarias en una casa de hacendado*, proyecto reprobado en la Junta Ordinaria del 4 de mayo de 1788,[9] y la *Casa para un señor hacendado*, obra ejecutada en 1794 que le permitió ser recibido en esta clase, por cuanto que en la Junta Ordinaria del 1 de noviembre de 1795 se le nombra en calidad de maestro de obras.[10]

El hallazgo de los planos de Fernando Rodríguez ha sido clave para la historia de la arqueología de Mérida, ya que hasta hace dos años eran inéditos y sus estudios no fueron recogidos ni nombrados en investigaciones posteriores. Por todo ello, se intenta en estos momentos ofrecer un pequeño homenaje a este olvidado artista para que pueda servir de punto de partida a otras futuras investigaciones sobre la ciudad.

NOTAS

1. Céan-Bermúdez, Juan Agustín: «Tercera parte. Provincia Lusitania: Mérida», *Sumario de las Antigüedades Romanas que hay en España, en especial las pertenecientes a las bellas artes*, Madrid, 1832, p. 334.
2. Moreno De Vargas, Bernabé: *Historia de la ciudad de Mérida, dedicada a la misma ciudad*, Mérida, 1892, pp. 45-83.
3. Ponz, Antonio: *Viage a España*, Tomo VIII, Madrid, 1784, pp. 103-151.
4. «Junta de la Comisión del 27 de julio de 1797», *Actas de la Sección de Arquitectura (Junta de la Comisión). Desde 1786 hasta 1805*. Sig. 3/139, fol. 291 (A.R.A.B.A.S.F.)
5. Gómez de Somorrostro, Andrés: *El Acueducto y otras antigüedades de Segovia*, Madrid, 1820, pp. 15-25.

6. Moreno de Vargas, Bernabé: *Historia de la ciudad de Mérida, dedicada a la misma ciudad*, Mérida, 1892, p. 45.
7. Arquitectura. Presas, canales y puentes. 1780-1790. Sig. 31-6/2, fol. 333 (A.R.A.B.A.S.F.)
8. Pavón Maldonado, Basilio: *Tratado de Arquitectura Hispano-Musulmana*. I. Agua, Madrid, 1990, p. 71.
9. «Junta ordinaria del 6 de abril de 1788», *Juntas ordinarias, generales y públicas. Desde 1786 hasta 1794*. Sig. 3/85, fols. 70 y 70 v. (A.R.A.B.A.S.F.)
10. «Junta Ordinaria del 1 de noviembre de 1795» *Juntas ordinarias, generales y públicas. Desde 1795 hasta 1802*. Sig. 3/86, fol. 25 (A.R.A.B.A.S.F.)

Bibliografía

Arbaiza Blanco-Soler, Silvia; Heras Casas, Carmen: «Fernando Rodríguez y su estudio arqueológico de las ruinas romanas de Mérida y sus alrededores (1794-1797). (Exposición 23 de junio-19 de octubre 1998)», *Academia*, (Madrid), núm. 87, Segundo Semestre de 1998, pp. 309-366.

Céan Bermúdez, Juan Agustín: *Sumario de las Antigüedades Romanas que hay en España, en especial las pertenecientes a las bellas artes (Publícase en Real Orden)*. Madrid: Imprenta de Miguel de Burgos, 1932.

Durán Fuentes, Manuel: «Puentes romanos peninsulares: tipologías y construcción» *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: CEDEX, CEHOPU, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Instituto Juan de Herrera, 1996, pp. 167-178.

Fernández y Pérez, Gregorio: *Historia de las antigüedades de Mérida (Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos de la provincia de Badajoz)*. Badajoz: Imprenta y Librería de D. Jerónimo Orduña, 1857.

Fornés y Segarra, Agustín Francisco: *Metrópoli primitiva de la Lusitania*. Mérida: Tipografía estereotipada y encuadernación Plano y Corchero, 1893.

García Sandoval, Eugenio: *Informe sobre las casas romanas de Mérida y excavaciones en la casa del anfiteatro*. Madrid: Servicio Nacional de Excavaciones Arqueológicas, Longo y Cía, 1968.

Gómez De Somorrostro, Andrés: *El Acueducto y otras antigüedades de Segovia*. Madrid: Imprenta de D. Miguel de Burgos, 1820.

Macías Llanes, Maximiliano: «Mérida monumental y artística», *Academia*, (Madrid), núm. 33, 31 de Marzo de 1915, pp. 26-28.

Macías Llanes, Maximiliano: *Mérida monumental y artística* (Bosquejo para su estudio). Barcelona: Imprenta Neotipia, 1929.

Martín Morales; Arenillas Parra, Díaz-Guerra, Carmen et.al.: «El abastecimiento de agua romano a Augusta Emérita», *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. A Coruña: Universidad, CEDEX, CEHOPU, Ministerio de Fomento, Instituto Juan de Herrera, Sociedad Española de Historia de la Construcción, 1998, pp. 321-329.

Mélida, José Ramón: *El teatro romano de Mérida*. Madrid: Imprenta de la Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos, 1915.

Mélida, J. R.: *El anfiteatro romano de Mérida: memoria de las excavaciones practicadas en 1916 a 1918*. Madrid: Imprenta de la Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos, 1919.

Moreno de Vargas, Bernabé: *Historia de la ciudad de Mérida, dedicado a la misma ciudad*. Mérida: Imprenta, Estereotipo y Encuadernación de Plano y Corchero, 1892.

Pavón Maldonado, Basilio: *Tratado de arquitectura hispano-musulmana. I. Agua*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1990.PONZ, Antonio. *Viage a España*. Tomo VIII. Madrid: L. Montserrat, 1972.

Un tipo inédito de trompas en la arquitectura omeya

Ignacio Arce García

El contexto arquitectónico

El alcázar omeya de la ciudadela de Ammán, situado en la terraza alta del *Jabal Al-Qala*, se construye en la primera mitad del siglo VIII dentro del perímetro del recinto de un doble *témenos* romano y sobre los restos de un edificio bizantino construido en el acceso a dicho recinto. Sobre los restos de este edificio bizantino de planta de cruz griega, se levanta en época omeya un monumental vestíbulo cupulado, que repite casi exactamente la planta del edificio preexistente que le sirve de cimiento (Almagro 1983).

El primer recinto alberga seis edificios residenciales ordenados en torno a patios porticados que presentan crujías de habitaciones en tres de sus lados, mientras que, dentro del segundo recinto, situado en el extremo norte de la ciudadela, se haya el complejo del salón del trono. Éste se compone de un patio frontal porticado en tres de sus lados, con un *iwan* o sala abovedada que se abre a dicho patio en su lado desprovisto de pórtico (Norte). Tras esta sala, se encuentra el salón del trono propiamente dicho: una sala cruciforme sobre la que se asentaba la cúpula cuyo sistema de transición interesa a este estudio (figuras 1 y 2).

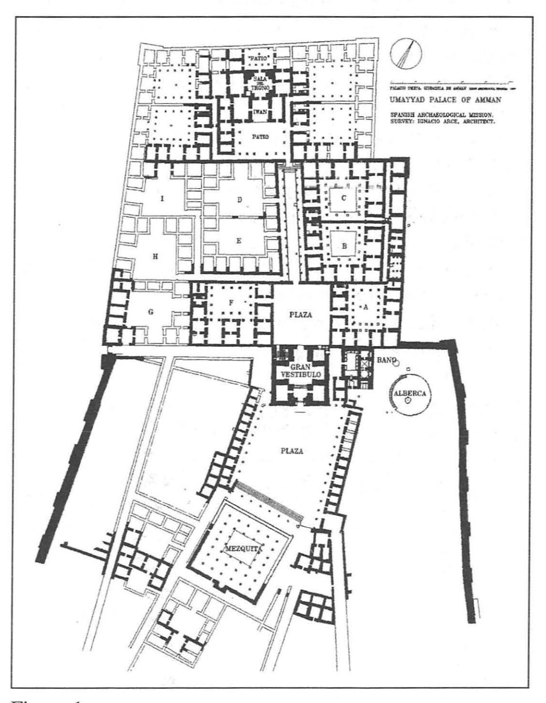


Figura 1
Palacio omeya de Ammán. Planta (del autor) (Misión arqueológica española)

Tras el salón de trono, se disponen las habitaciones privadas en torno a un pequeño patio, también sólo porticado en tres de sus lados. Una serie de habitaciones flanquean el conjunto, que a su vez se ve abrazado a Este y Oeste por dos pares de edificios residenciales similares a los dispuestos en el primer recinto del *témenos* y que completan la planta de este segundo recinto.

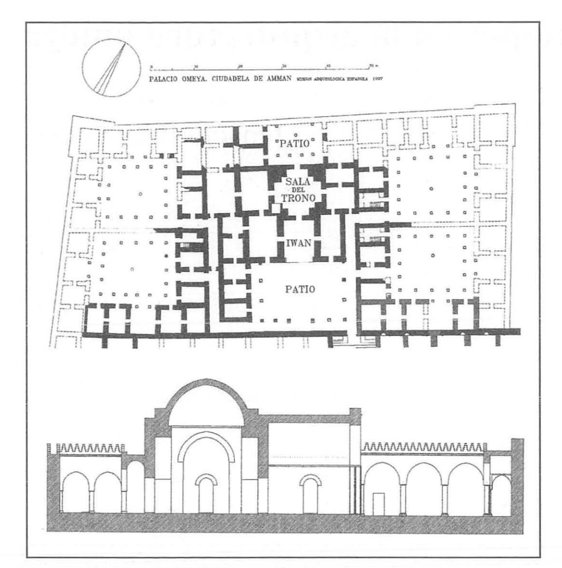


Figura 2 a y b
Palacio omeya de Ammán. Area del Salón del Trono. Planta y secciones(del autor)

Las tres secciones mencionadas del palacio (vestíbulo, primer y segundo recintos) se hayan incardinadas mediante una calle columnada que las conecta, sirviendo, así mismo, de filtro y separación entre ellas gracias a las puertas de control situadas en sus extremos.

La definición del problema

El problema que se viene a resolver con el fruto de esta investigación es el del apoyo de la cúpula que existió en el salón del trono y su correspondiente sistema de transición desde la planta cuadrada que cubre.

Diversos autores habían señalado con anterioridad (Almagro 1983, Olávarri 1985, Northedge 1992) el origen sasánida de este tipo de salón de trono que reproduce de forma canónica el prototipo que podemos ver en Damghan (Tepe Hisar), Firuzabad, Sarvistán, o el *Imarat-i-Khusraw* en Qasr-i-Shirin (Reuther 1939). En concreto, la asociación de un iwan abovedado abierto a un patio y un salón de planta cuadrada o cruciforme cubierto con cúpula. De entre estos antecedentes, aquellos con una planta cruciforme más próxima al salón del trono de Amman son el Chahar Qapu y el palacio de Sarvistán.

El proceso de investigación

Los resultados de esta investigación son el fruto del proceso de análisis, estudio y documentación de las piezas aparecidas la zona del salón del trono del Palacio Omeya de Amman llevado a cabo por el autor. Algunas de estas piezas habían sido ya inventariadas por Emilio Olávarri en los años setenta, cuando acomete la excavación del iwan y de la sala del trono propiamente dicha.

Entre éstas, se encontraba una losa de forma triangular con unos casetones tallados en una de sus caras consistentes en dos cuadrados en rebaje uno dentro de otro, y girados respectivamente 45º. Esta pieza fue identificada por Olávarri como el tímpano de una puerta (Olávarri 1985, fig.34). Durante las excavaciones conducidas en la zona por el autor, apareció entre los escombros del patio situado frente al iwan, una pieza similar a la inventariada por Olávarri (figura 3).

Entre esos mismos escombros apareció una serie de singulares piezas, emparejadas simétricamente,

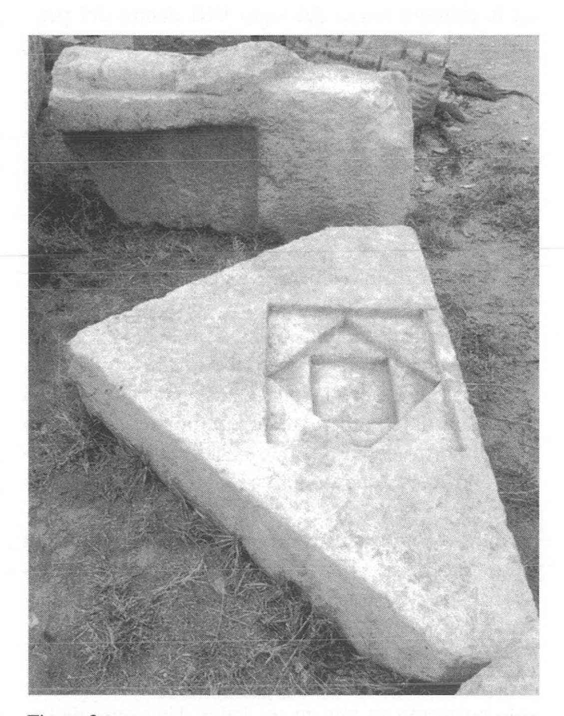


Figura 3
Pieza con decoración de casetones (detrás, pieza decorada con modillones) (del autor)

cuya caprichosa forma y molduración dificultan su descripción, tanto como han dificultado su comprensión y ubicación espacial y funcional (figura 4).



Figura 4
Pieza con decoración de modillones de rollos (del autor)

Se trata de unas piezas esencialmente prismáticas, con decoración aplicada solamente en una de sus caras (y en parte de una de las adyacentes). Esta decoración consiste en dos modillones, similares a los que decoran las ménsulas que se presume provienen de las fachadas del vestíbulo, y que a fecha de hoy son el antecedente directo mas antiguo de los modillones de rollos, tan característicos de nuestra arquitectura medieval (Torres Valvas 1936). De ellos, nace una moldura de sección semicircular, de diámetro menor al ancho de la pieza, y que longitudinalmente alcanza al extremo de la misma. La característica más notable de los modillones tallados en estas piezas, es que no están dispuestos en paralelo a los lados de las mismas, sino en diagonal, a 45º respecto a aquellos.

Al otro lado de los modillones, se dispone una moldura prismática y estrecha que los acompaña en la misma dirección oblicua. Tras de ella, existe un rebaje de tosco acabado y menos profundo que la cara sobre la que se disponen las mencionadas molduras. Esta zona, dada la tosquedad de sus acabados, parece indicar que estaría empotrada siendo sus superficies *interfaces constructivos* (Doglioni 1997 y Arce; Doglioni; Parenti, 1996).

La cara opuesta a la que presenta la decoración descrita es completamente lisa.

De las caras adyacentes *verticales*, sólo algunas presentan elementos reseñables. De los lados cortos, aquél donde moría la moldura de sección semicircular presenta un rebaje escalonado y en parte oblicuo, al que haremos mención mas tarde, mientras que el lado opuesto es completamente liso y ortogonal respecto a los perfiles de la pieza. De los lados largos, uno es completamente liso y presenta como única decoración, la talla en espiral de los testeros de los modillones antes descritos. El lado opuesto no presenta esta talla en los testeros de los modillones, que se rematan burdamente y sin cuidado alguno, pero sí un tosco rebaje que afecta a la mayor parte de la pieza y que parece estar destinado a recoger una pieza *horizontal* que descansaría en dicho rebaje. Éste interesa aproximadamente a la porción longitudinal de la pieza que corresponde a la moldura de sección semicircular.

Evidentemente, la primera tarea a acometer ante tan singulares piezas era su correcta colocación en el espacio, partiendo de los indicios disponibles. Para ello, se contó con una serie de aportes de naturaleza técnico-constructiva, y otro de carácter *filológico*. Este último se refiere a la asociación de una forma decorativa a un uso constructivo determinado. En nuestro caso, la asociación del elemento decorativo de los modillones a elementos constructivos en ménsula o voladizo, disponiéndose en la cara inferior de los mismos (Viollet le Duc 1875 y Torres Balbás 1936). Este indicio es el que inicialmente, llevó a ubicar dicha cara boca bajo, en posición horizontal.

Reforzando esta hipótesis, contábamos con otros indicios de naturaleza estrictamente constructiva. Así, los rebajes en las caras *verticales* de las piezas cobran sentido si éstas tienen efectivamente esa posición en el espacio: El rebaje en el lado corto funcionaría, así dispuesto, como una junta engatillada para evitar el descenso de la dovela, o la clave que se dispondría adosada a ella, mientras que el rebaje en el lado largo funciona como punto de apoyo sólo si la pieza viene dispuesta como señalada.

Por último, y como resultado de la investigación realizada por el autor sobre los capiteles de la mezquita, se contaba con el dato de que en la arquitectura omeya, en los interiores revestidos con estuco, la decoración que se debería aplicar sobre las superficies horizontales (boca abajo) no se ejecuta en estuco (por los lógicos problemas derivados de su puesta en obra), sino tallándola directamente en el elemento estructural, que en el resto de los casos, sirve de mero soporte del revestimiento aplicado.

Todo ello fue prefigurando la posición y consiguiente uso de estas singulares piezas. Se trataría de elementos dispuestos en voladizo, que en combinación con su pareja simétrica, y una clave engatillada,

conformarían un dintel arcuado (o arco plano) que sostendría en su parte posterior una pieza horizontal a modo de plafón. La disposición oblicua de las molduras de su cara inferior fuerza a que dichas piezas se dispongan en la esquina de una estancia de ángulos rectos. Llegados a este punto, fue lógico asociar estas piezas con las losas triangulares arriba descritas, que no se tratarían de tímpanos como sugería Olávarri, sino de los plafones sostenidos por dicho elemento constituido por las piezas en voladizo y la clave de cierre. Nos encontraríamos así frente a un tipo de *trompa adintelada* completamente inédito y sin paralelo conocido, pero de indudable origen sasánida (figuras 5, 6 y 7).

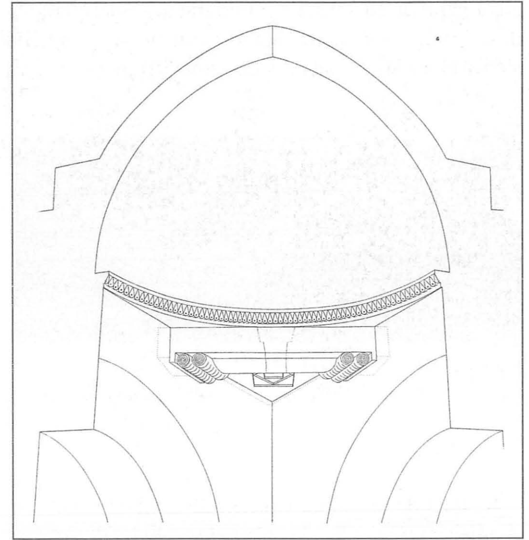


Figura 6
Recontrucción del sistema de *trompas adinteladas*. Salón del trono del palacio omeya de Ammán. Axonometría (del autor)

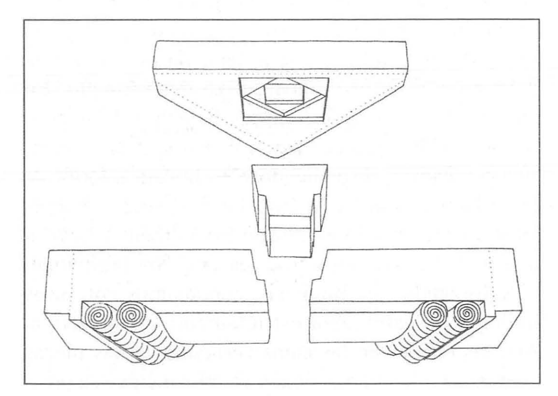


Figura 5
Ensamblaje de las piezas. Axonometría (del autor)

Esta hipótesis se ve confirmada por el paralelo existente en Qasr Harane, otro edificio omeya de fuerte influencia sasánida. Allí, existen unas trompas de perfil semicircular, en las que el arco sostiene un plafón exacto al de Ammán (figura 8).

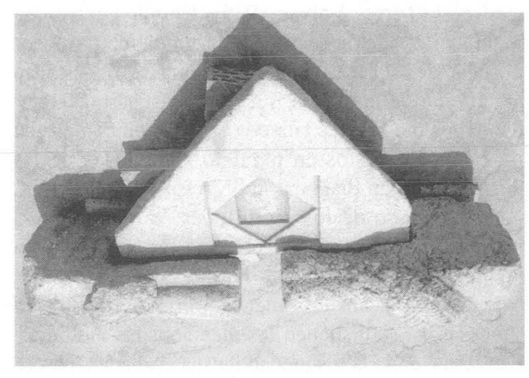


Figura 7
Ensamblaje de las piezas

ORIGEN Y ANTECEDENTES

El reducido número de edificios sasánidas que han llegado hasta nosotros, unido a su mal estado de conservación, hace que nuestro conocimiento de esta arquitectura y sus técnicas constructivas sea muy fragmentario. A esto hay que unir el aislamiento, que por razones políticas, ha limitado el acceso a los monumentos, lo que hace que desde la edición del clásico *A survey of Persian Art,* pocos hayan sido los aportes a su conocimiento. La mala calidad constructiva hace que incluso la mayor parte de los escasos restos que fueron estudiados hasta los años treinta hayan desaparecido para siempre.

En la opinión de muchos autores, el arte sasánida no tuvo tiempo suficiente para madurar, siendo en



Figura 8
Qasr Harane, sala #51. Trompas

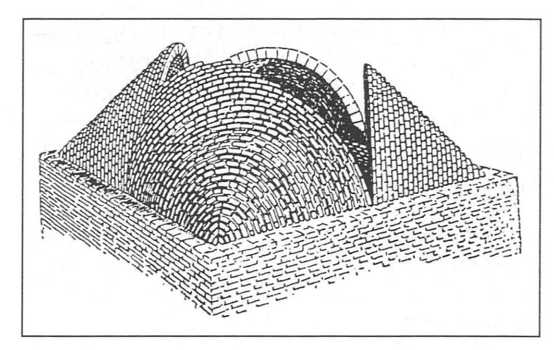


Figura 9
Bóveda de trompas (*squinch vault*) (Reuther 1939, fig.130)

los comienzos del arte islámico donde haya que buscar las pistas de lo que habría sido la natural evolución y desarrollo de este arte.

Si bien gran parte de las técnicas constructivas sasánidas son herederas de las partas, la capacidad de construir una cúpula sobre un espacio cuadrado es una aportación sasánida frente a la tradición parto-helenística.[1]

Los primeros ejemplos de trompas aparecen en el palacio de Firuzabad construido por Ardashir I en el siglo III d.C. Este tipo de cúpula, y en concreto su sistema de transición, no tiene ningún paralelo ni antecedente en occidente. Según Reuther «el sistema de Firuzabad está basado en una antigua solución para cubrir un espacio cuadrado sin usar madera, cuando no se tienen a disposición grandes monolitos de piedra». En el sistema, bien conocido, de construcción de bóvedas de cañón con ladrillo y sin cimbra, el albañil comienza en la pared del fondo con una hilada oblicua, apoyada en dicha pared y describiendo un segmento de círculo, avanzando con hiladas sucesivas, que descansan sobre las anteriores, hasta obtener una hilada cerrada.

En este otro tipo de abovedamiento, que denominaremos *bóvedas de trompas*, el albañil comienza tendiendo diagonalmente en la esquina de la sala un pequeño arco con la primera hilada, avanzando con hiladas sucesivas ligeramente oblicuas y de luz creciente, hasta que obtiene un semicono que repite en las otras esquinas de la sala. Si se continúa tendiendo sucesivas hiladas, el espacio que resulta (que es cuadrado en proyección horizontal) acaba cerrándose, resultando el tipo de bóveda usado hasta nuestros días en las casas de la zona del Jorasán (figura 9).

Por tanto, esta *bóveda de trompas* puede considerarse el antecedente del sistema de cúpula sobre trompas tal y como aparece en Firuzabad. En este caso, los conos de las trompas no alcanzan el punto medio de los lados de la sala, sino que se deja un espacio entre ellas. Espacio que es rellenado con hiladas horizontales que, proyectándose hacia el interior, acaban definiendo una circunferencia en coincidencia con la clave de los arcos de las trompas. La cúpula que se construye encima tiene una sección parabólica, está constituida por hiladas horizontales y puede completarse sin necesidad de cimbra (figura 10) (Reuther 1939).

Dado que la *bóveda de trompas* aparece por primera vez en las ruinas del Kuh-i-Khwaja (que data

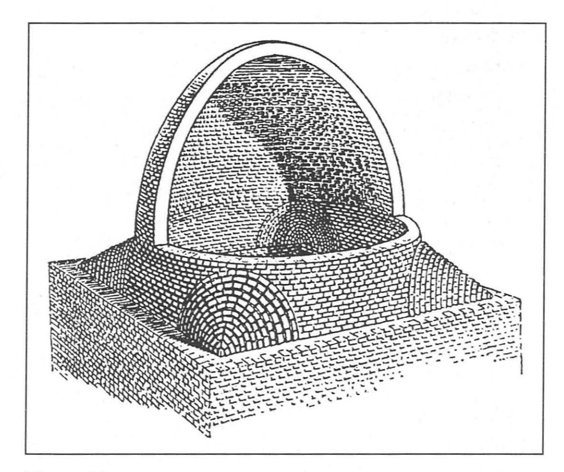


Figura 10
Cúpula sobre trompas sasánida (Reuther 1939, fig.131)

del siglo I d.C.), la cúpula sobre trompas (que como se ha señalado sería su consecuente) podría muy bien haber tenido su origen en el Este del Irán. Durante siglos, éste sistema estuvo confinado en Persia y los países colindantes, pasando a la zona centroasiática, junto con la bóveda de cañón construida sin cimbra. Prueba de ello son los monumentos maniqueos y budistas construidos con adobe de la ciudad abandonada de Khocho (Jok'o) en el límite norte de la cuenca del Tarim, en las que aparecen ambos elementos (Reuther 1939).

Forma y materiales. Las otras trompas de Amman: las (semi)cúpulas del vestíbulo

El hecho de que en la arquitectura sasánida se construyan indistintamente el mismo tipo de cúpulas sobre trompas con ladrillos cocidos (como en Sarvistán) o con cantos rodados embebidos en mortero de yeso (como en el *Chahar Qapu*) muestra cómo la subordinación a la forma, hace que ésta acabe desligándose de la técnica que la dio origen.[2] En el Vestíbulo de Ammán tenemos un claro ejemplo de ello, que da como resultado una solución constructiva paradójica, si no aberrante. En este caso, y para resolver la transición de las dos semicúpulas de los brazos laterales del edificio, así como probablemente para la cúpula central, hoy desaparecida,[3] se tomó como modelo formal a imitar, el tipo canónico sasánida de cúpula sobre trompas arriba descrito.

La diferencia esencial, es que el material usado en el Vestíbulo es una excelente sillería caliza, siendo más que probable que los canteros encargados de ejecutar este diseño sasánida fueran artesanos locales de tradición bizantina; canteros acostumbrados a resolver con una ortodoxa y escrupulosa técnica estereométrica todo tipo de problemas, incluidas cúpulas sobre pechinas y bóvedas vahídas. De hecho, algunos de los ejemplos mas antiguos de estas soluciones constructivas aparecen en el mismo Ammán, en el mausoleo romano de Qasr Nuwaiyyis y en los baños de la vecina Jerasa.

La imposibilidad de dar una definición estereométrica precisa a unas formas cuya geometría viene normalmente definida originariamente por una superficie de acabado en estuco sobre una estructura aglomerada de piedra ó ladrillo y mortero de yeso, impide su ejecución en cantería *a regola d'arte*. Esto lleva a la necesidad de tallar estas formas (están literalmente esculpidas) en un tambor de hiladas horizontales proyectantes. Una vez lograda una hilada (semi)circular en planta, se construye la (semi)cúpula con un perfecto trabajo estereométrico de juntas radiales esféricas, técnica que como se ha mencionado, era dominada con maestría por los canteros locales (figura 11).

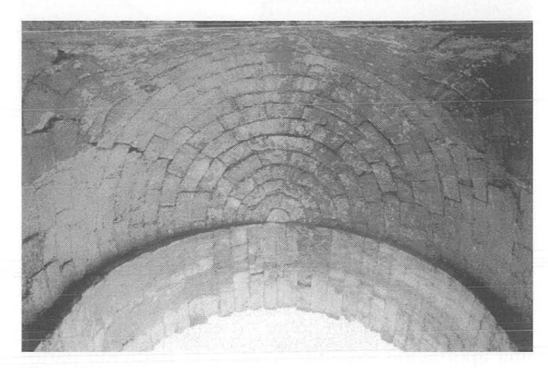


Figura 11
Palacio omeya de Ammán. Vestíbulo. Semicúpula sobre (pseudo) trompas

Sin embargo, en lo referente a este nuevo tipo de *trompa adintelada*, no existe ningún otro ejemplo ni paralelo conocido. No obstante podemos señalar ciertas soluciones constructivas, cuyas concomitancias conceptuales y geográficas, bien podrían señalar su origen común. Nos referimos a las techumbres de las viviendas de montaña del arco geográfico que va desde Armenia, Georgia y Azerbaiyán hasta Tayikistán en el corazón de Asia, pasando por el norte de Irán.[4]

A pesar de la relativa distancia geográfica entre estas zonas, comparten un paisaje boscoso y un tipo de vivienda muy similar, siendo paradigmático el ejemplo de Tayikistán. Se trata de una construcción rectangular o cuadrada, con cubierta de madera, sin otro vano que la puerta de acceso. La ventilación, iluminación y salida de humos del hogar se resuelven a través de una abertura en la cúspide de la techumbre pseudopiramidal que se obtiene por la disposición en diagonal de troncos comenzando a partir de las cuatro esquinas hasta llegar a los puntos medios de los lados de la estancia. En este momento, queda

descubierto un cuadrado cuyos vértices son los mencionados puntos medios de los muros de la sala. El proceso se repite una y otra vez, definiendo una cubierta que hacia al interior de la estancia se aprecia como una sucesión de cuadrados girados sucesivamente 45º según van ganado altura y disminuyendo en tamaño, exactamente la misma apariencia del motivo decorativo de casetones de los plafones de esquina, de Ammán y Harane arriba descritos (figuras 12 a y 12 b).

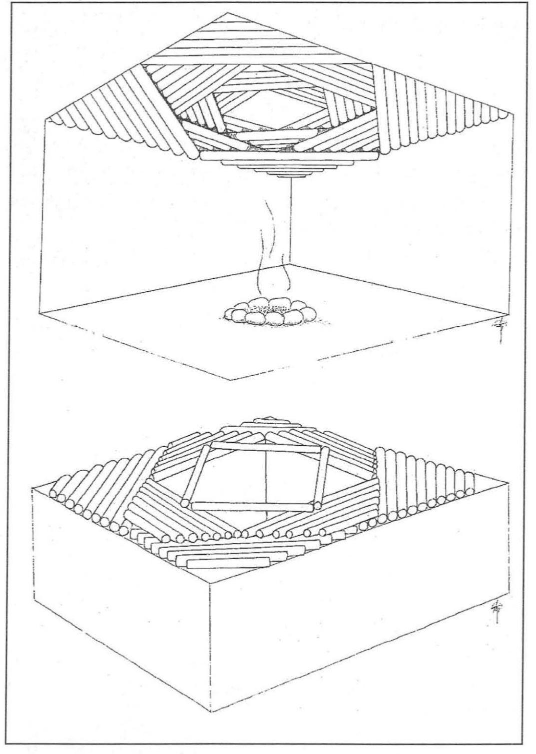


Figura 12 a y b
Tayikistán. Casa campesina. Esquema del sistema de cubrición (ext.-int.)

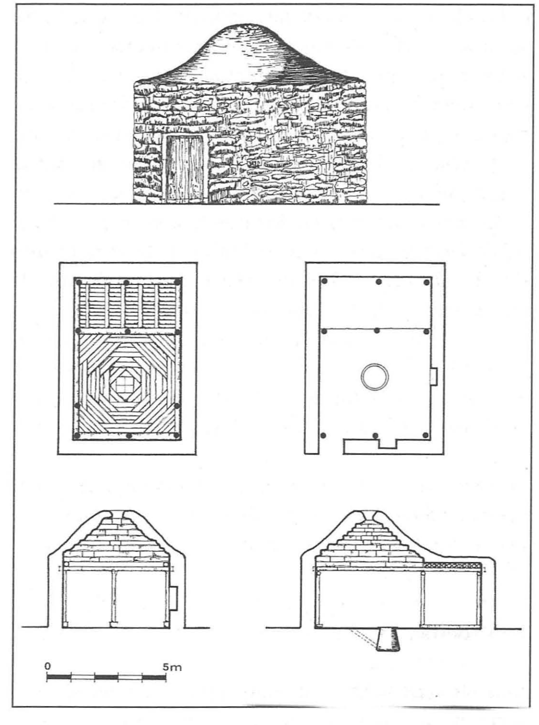


Figura 13
Armenia. Casa campesina con cubierta tipo *hazarashen* (*de las mil vigas*). (Alpago Novello et alli 1986, fig. 267)

El tipo de vivienda que aparece en Armenia posee un tipo de cubierta muy similar, denominado *hazarashen* (literalmente, *de las mil vigas*), que con frecuencia se ejecuta no ya con troncos (figura 13), sino con lajas alargadas de piedra. El mismo tipo se encuentra en Georgia donde se denomina *darbazi* y se haya difundida en todo el área subcaucásica incluyendo el azerbaiyan iraní (véase la *cúpula* absidial —en realidad se trata de este tipo de techumbre— de la iglesia de *Nakhtchavan Tapa* (Alpago 1988, fot. 103 c), Tayikistan (arriba descrito), Afghanistán, e India.[5]

Es importante mencionar que esta solución aparece también en el Yemen, en la mezquita de San'a, sin que nos sea posible saber si esta solución pertenece a la construcción original de Walid I, si se trata de una modificación posterior, o si se trata de un sistema importado con anterioridad durante la conquista del Yemen por los Sasánidas en el año 570, el terreno donde se edificó de la mezquita, era el ocupado por el jardín del último gobernador persa de San'a, Badhan ibn Sasan.

Es evidente la similitud conceptual a la hora de cubrir un espacio cuadrado de este sistema adintelado con el sistema de *bóvedas de trompas* antes descrito:

la luz que en un caso se salva con un arco de ladrillo, se salva en el otro con un dintel de madera, y en el caso de Amman con un *dintel adovelado* de piedra. La diferencia que existía entre la y la solución de trompas para sustentar una cúpula, esto es, que los arcos *bóveda de trompas* diagonales lleguen o no al punto medio de los lados de la estancia que cubren, es la misma diferencia que existiría en esta *versión adintelada*, entre estas techumbres de la arquitectura vernácula de la zona subcaucásica y la solución de *trompas adinteladas* descubierta en Ammán.

Es importante hacer notar cómo la misma decoración aplicada en las piezas de Ammán denota su origen ligneo, tanto en el caso de los modillones, como en el de la moldura semicircular inferior, trasunto evidente de una viga de madera, que en el modelo original salvaba la luz a cubrir en las esquinas, y de los canecillos o ménsulas utilizados como refuerzo y para disminuir la luz en los apoyos.

La cornisa de la cúpula

Entre los escombros retirados de la zona norte, aparecieron una serie de elementos decorativos y entre ellos un pequeño fragmento de cornisa que, sin duda, pertenece al arranque de la cúpula. En planta, sigue el perfil de una circunferencia con un diámetro aproximado de entre siete y ocho metros, con lo que correspondería a la cúpula que se debería asentar sobre el cuadrado central de la sala, de 7,35 metros de lado. Presenta como decoración una serie de hojas lanceoladas, que se proyectan ligeramente hacia adelante, y cuyo claroscuro se refuerza con un ojo taladrado en su base, del que arranca una acanaladura a lo largo del eje vertical. Tras la serie principal de hojas, se ha querido representar una segunda fila de la que asoman las puntas superiores entre las de la primera fila (figura 14).

Respecto al hecho de por qué esta cornisa está tallada en piedra y no se aplicó su decoración en estuco (como se presume estuvo decorado el resto de la estancia), debemos repetir aquí el argumento antes mencionado, en el sentido de que en la arquitectura omeya, aquella decoración que debe aplicarse sobre superficies horizontales (boca abajo) o en voladizo, va esculpido sobre el elemento estructural y no aplicado en estuco u otro revestimiento. Un claro paralelismo lo tenemos en la sala cupulada del *caldarium*

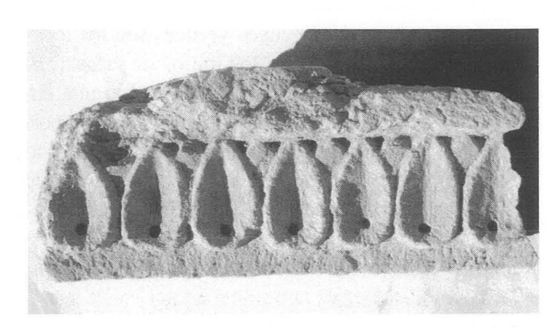


Figura 14
Palacio omeya de Ammán. Salón del trono. Fragmento de cornisa decorada

de los baños omeyas de Qusayr ʻAmra, donde la cornisa de la cúpula va tallada en piedra, mientras que las superficies de las pechinas y de la cúpula iban decoradas, respectivamente, con mosaicos y con pinturas murales sobre un revoco de cal.

Este motivo decorativo tiene múltiples antecedentes (en estuco) en la arquitectura sasánida, como los que aparecen en el palacio de Kish (Baltrusaitis 1939) (figura15), mientras que nos ha sido imposible verificar ningún paralelismo en otros edificios omeyas.

Consecuencias en la apariencia del salón del trono. Decoración complementaria

La hipótesis hasta ahora barajada para la transición a la cúpula del salón del trono, planteaba el uso del

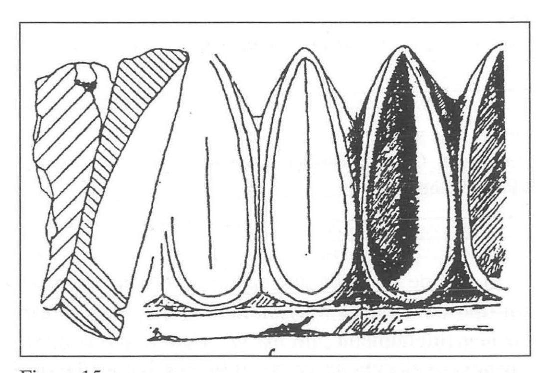


Figura 15
Palacio sasánida de Kish I (Irán). Cornisa decorada en estuco (Batrusaitis 1939, fig.188 f)

mismo tipo de trompas que existen en el Vestíbulo, y a las que nos hemos ya referido. La transposición de esta solución al salón del Trono daba como resultado una desproporción en altura del mismo, problema que ya en su propuesta mencionaba su postulante e intentaba compensar reduciendo el peralte de la cúpula (Almagro 1983, p.162). Con la nueva solución propuesta, este problema viene obviado, obteniéndose un espacio proporcionado, armónico y acorde con el vocabulario formal del arte sasánida, del que nace este edificio (figuras 16 y 6).

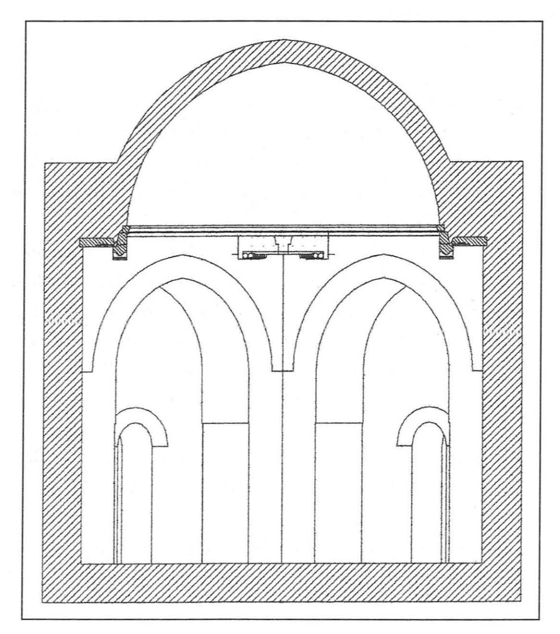


Figura 16
Palacio omeya de Ammán. Salón del trono. Sección oblicua de la sala

La decoración del resto del salón del trono

Siguiendo la tradición sasánida su decoración era independiente del material y forma de la estructura; este hecho, unido a la no pervivencia de ningún resto significativo, salvo unos minúsculos fragmentos de estuco excavados por Olávarri (Oávarri 1985) hace que resulte imposible aventurar el tipo de decoración aplicada, aunque sabemos por los restos mencionados, que se trataba de estuco tallado. Además, posiblemente este estuco serviría para rematar con una superficie continua, los espacios residuales situados en las esquinas definidas por la pared, el arranque de las *trompas adinteladas* y la cornisa base de la cúpula.

El pavimento, tanto en el iwan como del salón del trono, era de mosaico policromado, ejecutado por artesanos locales de tradición también bizantina,[6] un ejemplo más del sincretismo entre oriente y occidente del arte omeya.[7]

Epílogo

Uso del complejo

El iwan abierto al patio funcionaría como hall de entrada o antesala que en el ceremonial de la corte servía probablemente para recepciones públicas típicas de oriente y por tanto correspondería al *diwan-i-amm* de los modernos palacios indios y persas.[8] La sala cupulada situada tras él, era la sala donde se celebraban las audiencias privadas, el *diwan-i-khass* en Persia actual.

La adopción de formas y protocolo sasánidas

Es un fenómeno recurrente el hecho de que una nueva potencia emergente, vencedora de un imperio en decadencia trate de imitar, por razones de prestigio, la más desarrollada cultura de los vencidos. Tal es el caso de los pueblos germanos con Roma, o incluso el de Roma con el mundo helenístico. El caso del Islam, en principio no difiere mucho de estas constantes, si bien la característica más notable a estos efectos, es que los imperios derrotados por el Islam fueron varios, y entre ellos las dos potencias hegemónicas que se habían enfrentado durante siglos por el control del Creciente Fértil: el imperio bizantino (heredero del romano), y el sasánida (heredero de los imperios aqueménida y parto). Si bien el balance fue desigual, con una victoria parcial sobre el primero y total sobre el segundo, la existencia de dos posibles modelos a seguir dio origen a una fantástica fusión de formas y motivos decorativos, técnicas constructivas y tipologías arquitectónicas que están en el origen del arte islámico y hacen que éste no sea una imitación decadente de ningún arte preexistente, sino una creación nueva y distinta, en la que se funden ar-

moniosamente tradiciones orientales y occidentales (Almagro y Arce, 1996).

Señala Oleg Grabar cómo «sólo en el Irán pudo la recién formada cultura musulmana crear un pasado heroico e imperial para sí misma, sin chocar con el fantasma de un adversario cristiano vivo y floreciente. Puede que las formas iraníes de la época pre-islámica no conservaran las asociaciones concretas que tenían antes de la llegada del Islam, porque dichas asociaciones no tenían unos guardianes comparables a la iglesia cristiana o al imperio bizantino. Por tanto, podemos pensar que las formas de origen iraní perdieron su significado y se convirtieron en cierto modo en formas *libres* a las que se podían asociar significados nuevos» (Grabar, 1979 p. 53). Esto explicaría (junto a una mejor adecuación del protocolo sasánida a las creencias del Islam frente al protocolo bizantino) la adopción de éste protocolo, así como de las respectivas tipologías arquitectónicas por los omeyas.[9]

NOTAS

1. Las bóvedas de cañón de ladrillo construidas sin cimbra y los arcos diafragma aparecen en construcciones partas —palacio de Hatra—, pero no las *bóvedas de trompas* ni las cúpulas. El sistema constructivo de los arcos diafragma presente en la zona del Hawran (Siria) y en el Iran Parto podría, en opinión de algunos autores, tener su origen en el sur de Arabia desde donde las Azditas e Hymaritas lo llevarían a la Siria Romana y a la Mesopotamia Arsácida. Sin descartar esta hipótesis, respecto a su origen geográfico, en mi opinión, de haberse producido dicho *viaje*, éste tendría que anteponerse en el tiempo a las fechas señaladas.
2. Esto está intímamente relacionado con otro aspecto esencial de la arquitectura sasánida que tiene unas implicaciones importantísimas para la arquitectura islámica. Nos referimos a la ya mencionada independencia de la decoración respecto del material y forma de la estructura sobre la que se aplica, con un valor de revestimiento y casi nunca estructural. Por ejemplo, en la composición de las fachadas exteriores, los arquitectos sasánidas trabajan con elementos de tradición helenística, transmitidos por los constructores partos, pero usándolos al modo o gusto oriental componiendo con un concepto decorativo y no estructural. De modo que las composiciones de las fachadas son una pantalla sin ninguna relación estructural o mecánica con las estructuras abovedadas que ocultan (Reuther). Este vuelve a ser el caso de la fachada principal del vestíbulo de Amman, donde los paños entre contrafuertes de la fachada no corresponden con los cuerpos de fábrica abovedados que se alzan tras ellos (Arce, I.: «El análisis estratigráfico y la intervención sobre edificios históricos: el caso del Palacio Omeya de Amman» en *Tratado de Restauración y Rehabilitación Tomo II: Metodología de la Restauración*. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, ETSAM. Ed. Munilla-Leria. Madrid, 1999, pp. 237-250).
3. La investigación llevada a cabo por el autor permitió zanjar la discusión mantenida por Almagro y Northedge, respecto a la cubrición o no de este espacio, gracias al hallazgo de los alféizares de las ventanas que atravesaban la base del tambor sobre el que se asentaba la cúpula central (Arce, I.: «Conocimiento y finalidad: Del fragmento a la unidad (Planificar la excavación, proyectar la restauración, intervenir en la obra)» en *Progettare il Restauro*, actas del XIV Congreso Internacional «Scienza e Beni Culturali», Bressanone, 1998. Edizioni Arcadia Ricerche. Venecia, 1998); Arce, I.: ut supra).
4. El contacto, a través del Jorasán, del imperio sasánida con la Transoxiana, es también evidente por el éxito que tuvieron allí otras técnicas, como el estuco, que todavía hoy pervive, y cuya procedencia es detectable en los términos que los designan: La palabra en persa para estuco es *gach*, mientras que en tayiko es *ganch*.
5. Existirían además, paralelos en piedra en tumbas de época helenística en Anatolia. De hecho, el sistema es mencionado como típico de Partia por Senofonte y Vitrubio. La arquitectura selyúcida lo adoptará y usará en la sala de oración de la mezquita *Ulu Djami* en Erzerum (antigüo territorio Armeno, hoy en Turquía) y será utiizado en la arquitectura monumental armena (por ejemplo en el *Gavit* de la iglesia de Arakelots) (Alpago Novello, A. et alii: *Gli Armeni*. Jaca Book Ed. Milano,1986, fot. 103 a). *Gavit*: vasta sala cubierta, situada a los pies de las iglesias armenas, de uso religioso, concebida como aula de formación de catecúmenos, de encuentro y asamblea, administración de justicia y a veces sepulcral, tomando entonces el nombre de *zamatun*.
6. El estudio de reconstrucción del patrón decorativo ha sido realizado por el autor (Arce 1998 y Arce 1999).
7. No obstante, existen narraciones de cronistas árabes sobre el gusto de los propios emperadores sasánidas por los mosaicos. En el Taq-i-Kisra de Ctesifonte, en vez de pinturas murales o estucos, el mosaico vítreo se usó como revestimiento, siendo representado Cosroes II en la pared del salón del trono montado en un caballo amarillo (Reuther, O.: «Parthian Architecture». «Sasanian Architecture». *A Survey of Persian Art*. London, 1939, pp. 411-444 y 493-592).
8. La estructura descubierta en el pórtico frente al iwan recuerda el nicho o el iwan secundario que suele aparecer

frente al principal, en los palacios sasánidas de Ctesifonte, Kish I y Firuzabad.

9. «Cambio de significado y cambio de forma son dos fenómenos separados que dependen uno de otro, pero que no coinciden necesariamente. El cambio no sólo consiste en modificaciones de los caracteres visualmente perceptibles de forma y sujeto, sino también en una interrelación entre estos aspectos y la mente del espectador. Es probable que el hecho de que un musulmán contemplase o usase una forma, dotara a ésta de un sentido distinto y que ésta diferencia de entendimiento visual o uso práctico afectase ampliamente a la composición de nuevas formas. La identificación de los cambios requiere la identificación y explicación de tres elementos: La mentalidad del creador y/o usuario, los significados otorgados a la creación y las formas usadas». (Grabar, O.: *La formación del Arte Islámico*. Editorial Cátedra. Madrid, 1979, p.15).

Bibliografía

Almagro, A.: *El palacio omeya de Ammán I. La arquitectura*. Madrid, 1983.

Almagro, A. y Arce, I.: «El alcázar omeya de Ammán, crisol de técnicas constructivas» en *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. CEHOPU, CEDEX e Instituto Juan de Herrera. Madrid,1996, pp. 25-30.

Alpago Novello, A. et alii: *Gli Armeni*. Jaca Book Ed. Milano,1986.

Arce, I.: «Conocimiento y finalidad: Del fragmento a la unidad (Planificar la excavación, proyectar la restauración, intervenir en la obra)» en *Progettare il Restauro*, actas del XIV Congreso Internacional «Scienza e Beni Culturali», Bressanone, 1998. Edizioni Arcadia Ricerche. Venecia, 1998.

Arce, I.: «El análisis estratigráfico y la intervención sobre edificios históricos: el caso del Palacio Omeya de Amman» en *Tratado de Restauración y Rehabilitación Tomo II: Metodología de la Restauración*. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, ETSAM. Ed. Munilla-Leria. Madrid, 1999, pp. 237-250.

Arce, I.; Doglioni, F.; Parenti,m R.: «Gli strati di rivestimento: strategie e tecniche di indagine tra conoscenza dello spessore stórico e finalitá di conservazione/restauro». en *Dal sito archeologico alla archeologia del costruito*. Actas del XIII Congreso Internacional «Scienza e Beni Culturali», Bressanone, 1996. Edizioni Arcadia Ricerche. Padova, 1996.

Batrusattis, J.: «Sasanian stucco». *A Survey of Persian Art*. London, 1939, pp. 601-630.

Cuneo, P.: *Architettura Armena dal quarto al diciannovesimo sécolo*. De Luca Editore. Roma, 1988.

Doglioni, F.: *Stratigrafia e Restauro*. Lint Ed. Trieste, 1997.

Grabar, O.: *La formación del Arte Islámico*. Editorial Cátedra. Madrid, 1979.

Olavarri, E.: *El palacio omeya de Amman II. La arqueología*. Inst. S. Jerónimo. Valencia,1985.

Pope, A.U.: *A Survey of Persian Art*. London,1939.

Reuther, O.: «Parthian Architecture». «Sasanian Architecture». *A Survey of Persian Art*. London, 1939, pp. 411-444 y 493-592.

Strzygowski, J.: *Die Baukunst der armenier und Europa*. Wien,1918.

Torres Balbás, L.: «Los modillones de lóbulos: Ensayo de análisis de una forma arquitectónica a través de diez y seis siglos». *Archivo Español de Arte y Arqueología, XX-XIV*. Madrid, 1936, pp. 1-62 & 113-149.

Viollet Le Duc, E.: voces *Corbeaux* y *Corniche* en *Dictionnaire raisoneé de l'architecture française du XI au XVI siècle. Tomo 4º*. Paris, 1875. pp. 307-318 y 319.

Tipificación de las soluciones constructivas de la edificación doméstica madrileña de los siglos XVIII y XIX

Ricardo Aroca Hernández-Ros
Esperanza González Redondo

En Madrid queda un considerable patrimonio de edificios construidos en los siglos XVIII y XIX generalmente en mal estado de conservación. Las actuales normativas de protección del patrimonio construido, reflejo de la creciente sensibilidad social a favor de la conservación, están propiciando actividades de rehabilitación que cuentan con estímulos fiscales y subvenciones públicas. Dentro de este panorama, en líneas generales positivo, se echa en falta una reflexión culta y racional sobre el proceso material de la rehabilitación que tiene como punto de partida el conocimiento de la realidad constructiva del momento.

En este trabajo, realizado en el marco del Proyecto de título *Tipificación de las soluciones constructivas de la edificación doméstica madrileña de los ss. XVIII-XIX. Propuestas estandarizadas de reparación*, concedido por la Comunidad de Madrid (enero-diciembre de 2000), se realiza la investigación documental *Ordenanzas de la Villa de Madrid, tratados de construcción, trazas, memorias, proyectos y condiciones de ejecución de la arquitectura doméstica madrileña de los siglos XVIII y XIX*. Para ello, y siguiendo una línea cronológica de las fuentes documentales consultadas, se reproducen algunos textos que permiten conocer los sistemas constructivos y las técnicas empleadas.

Cimentaciones

La ejecución de las cimentaciones en el ámbito de la arquitectura doméstica madrileña preocupó desde antiguo a los técnicos del proceso constructivo; de ello dan muestra los numerosos expedientes de solicitud de licencias de obras en donde se especifican: su construcción, dimensiones, así como los materiales a emplear. Torija, al referirse a las cimentaciones señala:

> El alarife, siendo nombrado por parte para medir una obra: lo primero que debe hacer, es pedir la escritura de contrato, y condiciones, en cuya virtud se hizo el concierto; y reconocer, si ha cumplido con la distribución de la planta, que tambien ha de pedir, y no ha de empezar la medida, sin asistencia de la persona, cuya es la cosa, para que vaya informando, y se hagan calas, para conocer lo profundo de los cimientos... (Torija , 1661, Cap. II).

Cimentación con zanja corrida

El proceso de relleno de la zanja por sucesivas tongadas se realizaba como sigue (figura 1a):

> ... Abiertas ya las zanjas de un muro ó pared hasta el fondo firme, si le hubiese, y cuando no acabadas las maniobras de los zampeados, que son propias de los carpinteros, se irán llenando las zanjas ó los cajones de los zampeados, desaguándolos antes lo mejor que se pueda, si acaso tienen agua. Luego se pondrán dentro de la zanja las piedras más crecidas, haciendo aceras, si la primera tongada se hace en seco como algunos lo ejecutan, ó se echará en el fondo una buena tortada de cal, cuya práctica nos parece mucho mejor que la de sentar las primeras piedras en seco. Sobre

aquella se van sentando y enripiando las piedras mas crecidas, trabándolas como se dijo de la mampostería en seco, llenando con cal y ripios los vanos que quedan, y metiendo y extendiendo con la paleta la cal por todos los rincones, haciendo así un perfecto plano por encima, bien apretado y apisonado con un pison... (Villanueva, 1828).

En algunas ocasiones se intercalaban verdugadas de ladrillo:

... Se ha de vaziar el Vano de los Sotanos y gruessos de paredes a la profundidad de diez pies y quarto desde el pisso de la Calle continuando las Zanjas de otras Paredes con un pie de Zarpa exteriormente, y en lo ynterior, medio pie que es una de zócalo al Cuerpo del cuarto vajo, y dos pies mas profundo que el pavimento... Que hallado el firme y puesto à nibel se haian de mazizar las Zanjas con mampostería vien travada de buena piedra pedernal, con su mezcla de cal correspondiente enrrassando de tres en tres pies y hechando à cada enrrasse sus dos yladas de canto de ladrillo de la mejor calidad... AVS 1.46.3 (1747).

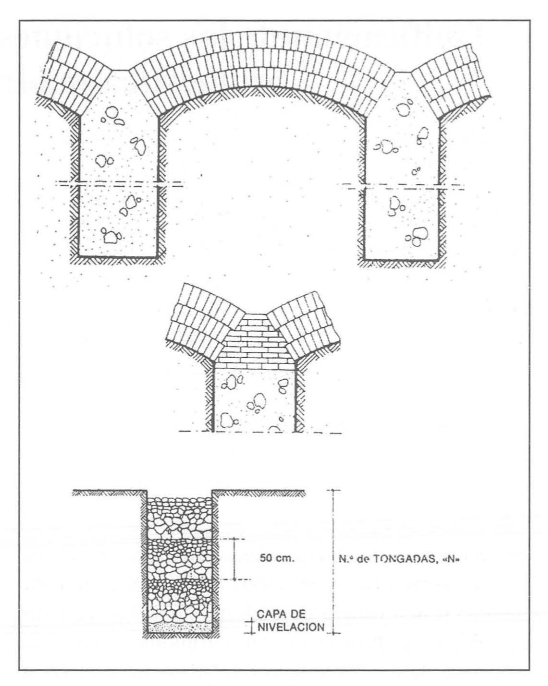


Figura 1
a) Esquema de cimentación en zanja corrida. b) Cimentación por pozos y coronación por arcos. (Úbeda de Mingo, 1984. *Arqueología urba)*

Pozos rellenos y arcos en piedra o ladrillo en su coronación

Cuando el terreno a cimentar era de echadizo o bien cuando existe algún accidente que salvar, como es el caso de las conducciones de agua la cimentación se resolvía mediante pozos rellenos de mampostería y arcos en piedra o ladrillo en su coronación (figura 1b).

SÓTANOS

Estos sótanos o cuevas, se construían con bóvedas de cañón de ladrillo colocados de canto o sardinel sobre camón. Por lo general, se realizaban sólo en la primera crujía que daba fachada a la calle a la que se abrían unas ventanas o lumbreras que permitían la iluminación y ventilación:

... Se deben hacer las cuevas debaxo de las viviendas, con tal que se aparten de las perpendiculares de las paredes á lo menos dos pies, para su mayor seguridad y fortificación. Débese también profundizar la distancia conveniente, de calidad que siempre le quede á lo menos diez pies de capa; y si por la conveniencia suya quiere introducirse con dicha cueva dentro de la posesión de otro, no lo puede hacer; y en caso de hacerlo, ó por descuido ó maliciosamente, debe cerrar dicha cueva á los plomos de su pertenencia con una pared de mampostería ó albañilería de tres pies de grueso. Y si la caña fuese más larga que de seis pies, es necesario vestirla con paredes y bóveda de ladrillo... Ofrécense hacer lumbreras á dichas cuevas, para su desahogo y ventilación, las cuales ordinariamente estan en las fachadas de las calles, y estas se incluyen en los gruesos de los cimientos de dichas fachadas, ... Tambien se ponen algunas lumbreras tendidas en el suelo de piedra barroqueña, las cuales se consienten; pero se les debe advertir no tengan estrias, sino agujeros circulares, que no tengan mas de dos pulgadas de diámetro... (1719).

A mediados del siglo XVIII, en una de las viviendas construidas en la Puerta del Sol, esquina a la calle Carretas, se explicita el proceso constructivo de las paredes de los sótanos:

... ha de ser de buena fábrica de Alvañilería dejando en ellas los arranques para dos Cañones de Bóveda, que se haran de tres quartos de pie de gruesso, y serviran de Suelo à las tiendas, y en las dos paredes exteriores que forman Angulo sus lumbreras guarnecidas de fábrica de albañilería... AVS 1.46.3 (1747).

Tras el incendio de la Plaza Mayor de Madrid (1790), y en vista de la precariedad de los sistemas constructivos que se venían realizando en materia de protección contra incendios, Juan de Villanueva alerta sobre la necesidad de construir los sótanos con buena albañilería:

... Todo Edificio hasta la superficie del terreno deve ser de la mayor solidez, sus cimientos y paredes de sótanos y cuebas de buena Mampostería de las diversas clases de ésta, con guarniciones, Machos y Arcos de buena Albañilería de ladrillo, Bóvedas de Rosca de lo mismo, y Escaleras de piedra, o sardinel; no deviendo permitirse suelo alguno intermedio bajo la superficie del terreno, ni Escalera de madera que no sea de mano... (Villanueva, 1790).

En aquellos casos en los que se decidiera utilizar estas piezas como estancias vivideras, deberían cumplir las siguientes condiciones:

Los sótanos de las casas estarán ventilados por lumbreras verticales dispuestas en los filos de las fachadas,... no pudiendo bajo ningún concepto destinarse para viviendas, siempre que lo que se halle enterrado por bajo de la rasante no sea inferior a la mitad de su altura, la que, en ningún caso, podrá medir menos de tres metros 50 centímetros... el pavimento se formará con una capa de cemento sentada sobre escombros o carbonilla; encima de ésta se fijarán rastreles de madera, a los que se clavará un entarimado; las paredes de estas habitaciones, hasta la altura de un metro y doce centímetros por cima de la rasante de la calle, se tenderán también con cemento... (Art. 786-8 Ordenanzas de la Villa de Madrid de 1892).

Saneamiento

Hasta mediados del siglo XVIII, no existía normativa alguna que regulara la existencia o ubicación dentro de las viviendas particulares de retretes y de baños. Hasta ese momento, los retretes más comunes eran los portales de las casas y rincones de las calles y las condiciones a las que debía someterse la realización del saneamiento a nivel doméstico tardaron en tener cuerpo suficiente para formar parte de un reglamento. Con la llegada de Carlos III se introducen mejoras notables que se verán reflejadas en un conjunto de *Instrucciones sobre saneamiento y limpieza de la ciudad*[1]. Se dio la orden de construir cañerías y fosas sépticas en cada casa. Hasta la segunda mitad del s. XIX no se recoge ninguna indicación al respecto en las distintas ordenanzas:

... Los retretes y comunes serán inodoros de los conocidos con el nombre de bombillos, y sus bajadas de hierro fundido ó de tubos de gres, se dispondrán de manera que puedan limpiarse con facilidad. Estarán situados en corredores ó pasillos esteriores á las habitaciones, y directamente ventilados por los patios; pudiendo, sin embargo, colocarse retretes en el interior, siempre que se empleen aparatos inodoros de válvula con depósito de agua para su limpieza Art. 15 (1860).

... El servicio de aguas inmundas se dispondrá con arreglo al sistema adoptado para el nuevo alcantarillado . Art. 16 (1862).

Estas condiciones de higiene y salubridad se concretarán a finales de siglo a través de las nuevas Ordenanzas. Cualquiera que sea la casa que se construya, serán condiciones precisas e indispensables:

Que todas las habitaciones tengan sus retretes en una pieza destinada a este objeto, con luz y ventilación de los patios o patinillos.

Que estos retretes sean inodoros. Que las tuberías de bajada sean de plomo o hierro, soldadas o enchufadas perfectamente, prohibiéndose en absoluto las tuberías de barro. Que estas tuberías de bajada se prolonguen un metro a lo menos por cima de las cubiertas, y que antes de acometer a los pozos de registro se disponga en ellas un sifón. Que en los sitios donde se halle construida la alcantarilla general y sea posible su disposición, las bajadas de agua acometan a la de dichos retretes; y que el piso y un zócalo de un metro doce centímetros de altura, a contar desde el pavimento en las piezas destinadas a retretes, estén revestidos con cemento.

Quedan prohibidos terminantemente los retretes llamados de vecindad, así como los de construcción a la italiana. Art. 795-6. (1892).

Relativo a la recogida de aguas pluviales, se escribe:

Las bajadas para las aguas llovedizas se harán con tubos de plomo ó zinc hasta la altura de los pisos principales, y desde aquí hasta el de la calle se construirán completamente embebidos en la fábrica. Las que se ejecuten en los patios podrán ser tambíen de plomo ó zinc, escepto en los dos últimos metros de su longitud para unirlas con el origen de la tagea en que serán de hierro, no siendo indispensable empotrarlas en los muros en parte alguna, si así conviniere. El desagüe de unas y otras irá directamente á las tageas del edificio, y en manera alguna verterán sobre la vía pública Art. 17. (1860).

Muros

Muros de fachada

Las fachadas de las viviendas madrileñas en el siglo XVIII se realizaba con entramados o telares de madera elevados sobre una planta baja de cantería. Los cuarteles se rellenaban con ladrillo o mampostería y posteriormente se enfoscaban y revocaban (figura 2). Si se construían de ladrillo en su totalidad éste quedaba visto:

> ...Que enrassada la fabrica con el piso de la Calle se han de plantear y elevar sobre los mazizos de avajo los pilares que expresa la Planta, de Cantería hasta el alto de las puertas sobre los que han de zerrar el vano de ellas dos vigas medias varas puestas de canto, que hacen el gruesso. De la pared y han de coger las dos Fachadas con sus abrazaderas esquadras en el angulo gatillos. De yesso bien Clavados y asegurados, ... Que sobre las medias varas de las fachadas continuando su elevacion se hayan de sentar los pies derechos, y Carreras de tercia para entramarla por el alto del cuarto prâl disminuyendo las paredes por la parte ynterior hasta quedarse en pie y medio, y se devera fabricar eligiendo los vanos de ventanas de buena fabrica de Alvañilería... Que se haya de levantar el alto del qto. segundo con sus entramados en las fachadas de madera de tercias del mismo gruesso de pie y medio de buena fabrica de Alvañilería, y en lo ynterior de sesmas y taviques de yesso y Cascote guardando los plomos de los vanos como muestra el alzado... Que en la elevación del quarto tercero se haya de continuar con los mismos entramados de tercia con carreras y puenttes de la misma Calidad de pie y medio, del propio grueso en las fachadas, y de la misma fabrica de Alvañilería dejando sus vanos de ventanas como expresa el alzado... Vivienda en la esquina de la Puerta del Sol con la calle Carretas. AVS 1.43.3 (1747).

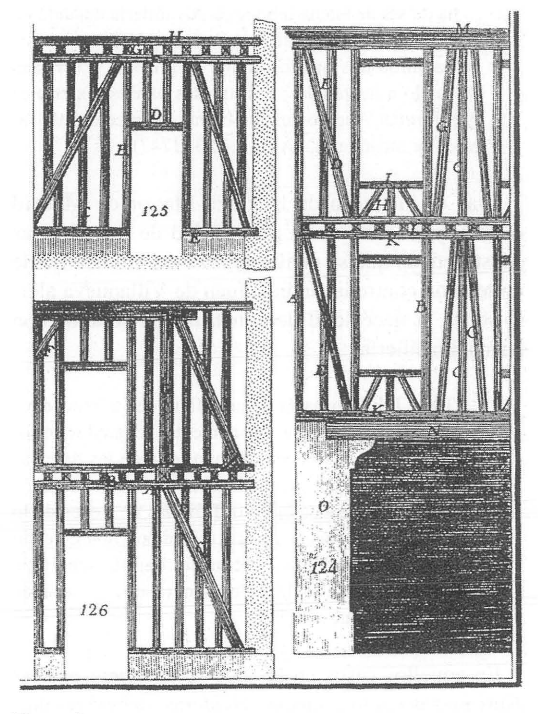


Figura 2
Esquema de muro de fachada entramado con apertura de huecos. S. XVIII. (Beneito Bails. *De la Arquitectura civil.* Tomo II).

Sin embargo, Villanueva propone su construcción con ladrillo o con cajones de mampostería y verdugos de ladrillo (figura 3):

> ... En el primer cuerpo de los Edificios se harán sus paredes exteriores, citaras o tavicones de Crujía, y medianerías, de sola Albañilería de ladrillo, o con Cajones de Mampostería donde puedan hacerse Arcos de Puertas, Ventanas y demás huecos de otra albañilería: las fachadas hasta su primer cuerpo, especialmente si tienen huecos grandes de Puertas de Tiendas, de buena cantería de Yladas llenas, o de Pilares enteros, o Despezados, Arcos y Alquitraves de lo mismo, como también las guanciones de Puertas, Jambas y Dinteles; y sería mui conveniente, que toda tienda de Comercio con sus oficinas del Plan terreno, se hiciesen en Madrid de Bóveda tavicada ... (Villanueva, 1790).

En la centuria que sigue, se construyen con ladrillo desde el zócalo hasta el alero reduciéndose la sección

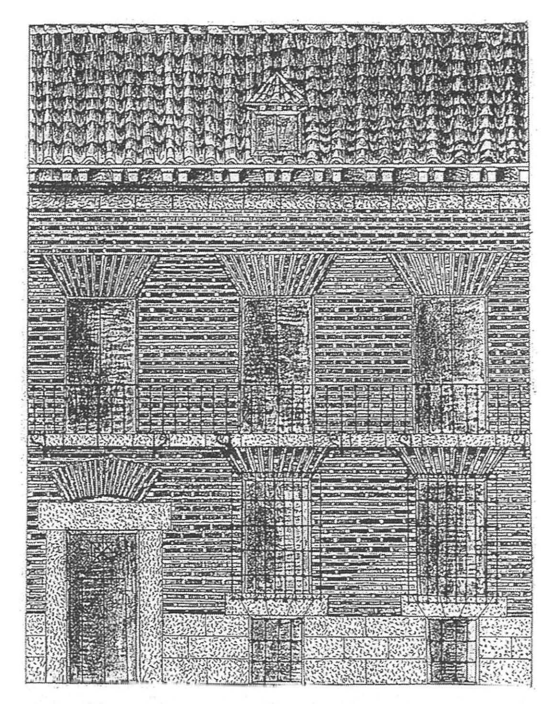


Figura 3
Muro de fachada con ladrillo visto. Vivienda del s. XVIII

a medida que éste crece en altura y se enfoscaba posteriormente:

> ... sobre el referido zócalo y con el mismo grueso de tres pies seguira la fábrica de ladrillo y mezcla de cal y arena el cuerpo bajo hasta la imposta del piso principal y de la misma fabrica en todas sus alturas, siendo los arcos de puertas y ventanas del propio material sin entramado alguno ni umbrales de madera, retallandose un cuarto de pie por lo interior en cada piso de los superiores, de forma que resulte el piso segundo de dos pies y tres cuartos para el asiento del alero... (1833) AVS 1.64.88

Muros de carga interiores

La práctica más extendida en la construcción de los muros interiores era el entramado de madera relleno de albañilería (ladrillo, cascote,...). Villanueva también menciona la conveniencia de construirlos en su totalidad de albañilería con arcos de lo mismo en los huecos, sin embargo se siguieron utilizando durante todo el siglo siguiente los entramados de madera:

> ... Los muros de fachadas interiores y tabicones podrán construirse con hierro o con entramados de madera del marco de tercia para las plantas bajas, tajones de sesma para las principales, y así sucesivamente en los demás pisos, segun sus elevaciones.... Art. 6º (1862).

Medianerías

La resolución de los elementos de medianería fue un elemento que desde fecha antigua quedó reflejado en las Ordenanzas de Madrid. Inicialmente y dado el tipo de viviendas en su mayoría de una o dos alturas, este tema afectaba fundamentalmente a tapias divisorias de la propiedad, a menudo de los corrales que quedaban en las traseras de las viviendas. Estos muros se resolvían mediante los denominados telares, es decir, se colocaba una estructura portante de pies derechos de madera entomizados con cuerdas y separados entre sí 1.60 metros, sobre los que se coloca la zapata y sobre ésta la carrera que sirve de apoyo al forjado. Los huecos o *cuarteles* se rellenaban posteriormente de diversos materiales: mampostería, adobes, ladrillos, cascote o material de derribo, etc. (figura 5).

A raíz del incendio sucedido en la Plaza Mayor de Madrid (1790) y dado que su rápida propagación se debió, en gran parte, al hecho de no existir muros medianeros de fábrica que pudieran servir de cortafuegos, Villanueva alerta sobre los sistemas constructivos que venían utilizándose en Madrid en los que predominaba el uso de la madera, y en su lugar propone la utilización de medianerías de fábrica:

> ... Las paredes de medianería, como divisorias de las demás posesiones, deven prestar con su solidez el mayor refuerzo contra la extensión de los Yncendios, siendo unos incombustibles contrafuegos, para lo cual deven criarse desde su fundamento de buena fábrica, sin entramados de maderas, y con las pequeñas entradas que no penetren en ellas de las soleras y estrivos únicamente, no deviendo usarse de carreras, o guiones: Estas medianerías en la planta del Plano terreno tendrán dos pies y medio, por lo menos, se aumentarán de un octavo por cada lado según los pisos que desciendan acia el centro, y disminuirán con la misma proporción en todos los pisos superiores hasta los cu-

biertos, elevándose un pie sobre sus tendidos y Caballetes, y sobre ellos se pondrán sus Albardillas de teja, Pizarra o Plomo... (1790).

Ya en el siglo XIX y en el marco normativo de las viviendas de nueva construcción en el Ensanche, si bien la técnica constructiva seguía siendo la misma, se proponen algunas medidas para evitar la propagación de los incendios:

... En cada grupo de tres casas, los muros de las medianerías estremas se construirán de fábrica de ladrillo ú otro material incombustible, elevándose en toda su estensión por encima de las armaduras por lo menos un metro .. y pudiendo cargar en ellas sus suelos, estableciendo no obstante las carreras sobre canes de piedra ó hierro. Las demás medianerías serán como las tabicones de carga, de hierro ó entramados de madera... Art. 7º (1862).

Sin embargo, todavía a finales del s. XIX y dentro de la cerca de Felipe IV se seguía construyendo con entramados de madera, los edificios adyacentes existentes impedían adoptar las medidas que contempla el Ensanche:

... Las traviesas y medianerías seran entramadas con los marcos de pié y cuarto en planta baja y en principal y tabicados en ladrillo pardo y yeso. Los pies seran de maderos de los largos correspondientes a los anchos de las crujias forjados con cascote y yeso... Cochera en la c/ Ancha de San Bernardo c/v Divino Pastor (1881) AVS 6.151.1.

Paredes: cítaras y tabiques

En la construcción de estas paredes interiores, que a menudo se hacían colgados, se perseguía que fueran lo más ligeras posible para ocupar el menor espacio y ahorrar material. Se construyen con entramados de madera rellenos de piedra, ladrillo, cascote o material de derribo,... aunque lo más habitual, es una combinación de varios tipos de estos materiales en el entramado. Los gruesos, cuando tienen comportamiento resistente, varían de un pie a tres cuartos; los de tabiques pueden ser de medio y un cuarto. Las paredes más gruesas, de tres cuartos a un pie, se denominan *cítaras* y las más delgadas, de medio pie o un cuarto, tabiques. El entramado estándar resistente tiene unos 20 cm y se forja con medio pie y trasdosado de panderete en series alternadas. El no resistente es un panderete revocado de yeso

... Los tabiques de piedra no pueden tener menos que un pie de grueso, y si no se les ponen entramados de madera donde se puede asegurar el tablero para formarlos contra él, son difíciles de construir, y por lo tanto es preciso el cuidado para que se mantengan firmes. Formándolos contra tableros, se colocan las piedras unas formando frente hácia el tablero, y otras hácia el oficial, y el vano entre unas y otras; se macizará con ripios, barro, cal ó yeso, para que todo quede macizo y trabado. (Villanueva, 1826).

En las cítaras de ladrillo si se colocan con el ancho del ladrillo formando el grueso se denomina de *soga*; y si es el largo el que forma el grueso, se denomina de *asta*. Análogamente a los anteriores se pueden construir con o sin entramado. Los tabiques o paredes delgadas más frecuentes de la arquitectura doméstica madrileña se construyen con entramados de madera rellenos de albañilería: adobes, ladrillo sentados de canto, cascote... En los tabiques de adobe:

... se pueden hacer sentados de plano ó sentados de canto, con entramados de madera ó sin ellos. Por lo regular se sientan de plano, á no hacerse los adobes tan gruesos como ha de ser el tabique. Se pueden unir y sentar con barro, con mezcla de cal y yeso.. (Villanueva, 1826).

Los tabiques delgados de ladrillo, de medio pie o un cuarto (figura 4a):

... se hacen unas veces sencillos y otras dobles, y por lo regular se forjan de yeso, pues con otra mezcla colocados de canto no se mantendrian. (Villanueva, 1826).

Los tabiques entramados de madera y rellenos de cascote se realizan con el material de desecho de los edificios demolidos (figura 4b):

... con entramados y un tablero detras se forman del tamaño que se quieren. Si se quieren hacer colgados, esto es, que no carguen sobre el suelo, y que pesen muy poco, se arma un telar con listones de madera enredados con tomizas, y se forjan con yeso y cascote menudo, poniendo detrás un tablero. Otro modo excelente y muy económico hay de hacerlos delgados, ligeros, iguales, y á plomo, sin entramados ni tomizas, y es el de formar en unas gradillas una especie de ado-

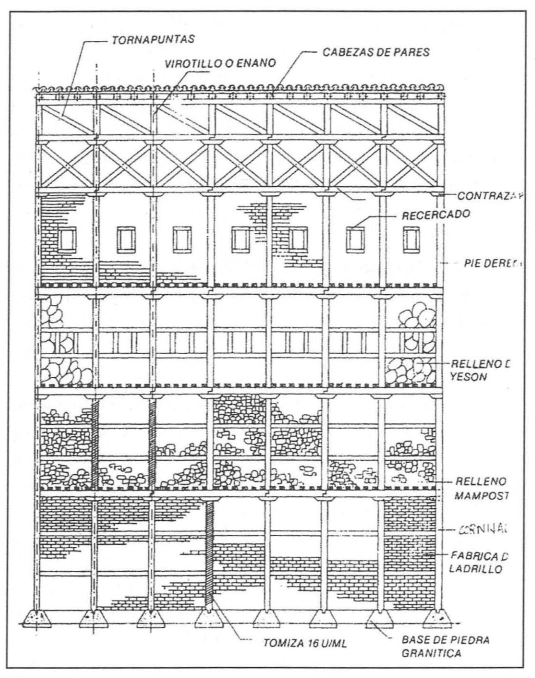


Figura 4
Telar de medianería (Úbeda de Mingo, 1984. *Arqueología urbana)*

bes del grueso y ancho que se quiera con los escombros menudos que resultan de los derribos mezclados con masa de yeso, y usarlos de canto como si fuesen de ladrillo. Este método es fácil, de ahorro, y con él se aprovecha aun el polvo de los derribos que se habia de sacar al campo... (Villanueva, 1826).

En las casas de corredor o *corralas* (figura 5) queda el entramado de madera exento. Los antepechos del corredor se resolvían con pletina metálica y barrotes de varilla o con panderete tendidos de yeso y albardilla de madera.

FORJADOS

El sistema constructivo más empleado fueron los entramados horizontales de vigas de madera con sus huecos rellenos, en su mayoría, de albañilería. La organización estructural del forjado variaba según las luces a cubrir, en edificios de una crujía, para luces pequeñas (3.0-4.0 metros), las viguetas se disponen sobre los muros de fábrica y con luces medianas (5.0-7.0 metros) se disponen jácenas en dirección transversal a los muros de carga y viguetas en dirección longitudinal. En edificios con luces entre 8.0-

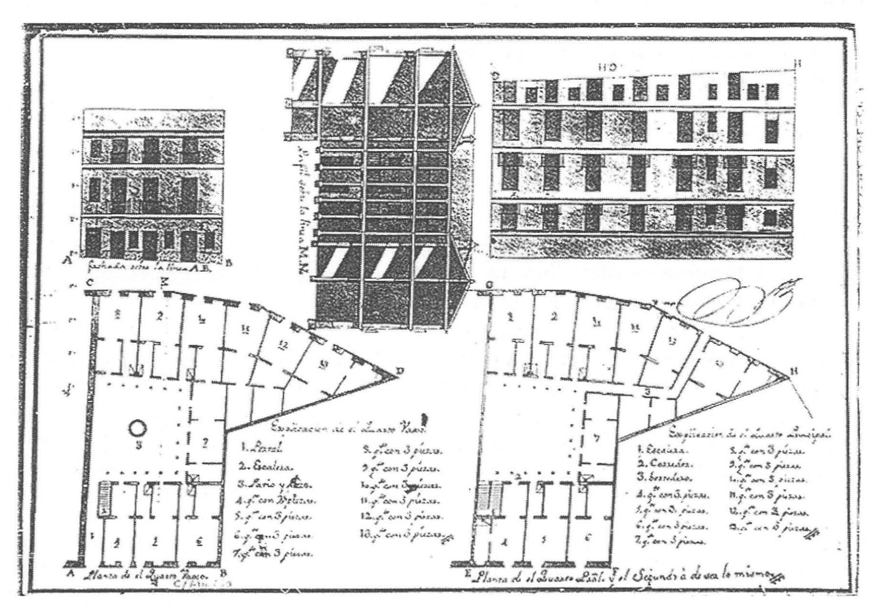


Figura 5
Casa de correo o «corrala»S. XVIII

9.0 metros, se recomienda la organización según dos crujías siguiendo la dirección longitudinal. Los apoyos perimetrales se realizan bien en los muros medianeros o bien en los de fachada y trasera según la organización de la planta. Los apoyos centrales se resuelven con un muro entramado

Forjados de madera

La construcción del entramado horizontal de vigas de madera podía variar según se trate de una u otra planta de un mismo edificio: principal, segundo, tercero o desván:

> ... se hecharan los suelos del quarto prâl en la tienda del Angulo de madera de à ocho de bobedas y en la tienda ynmediata de madera de à seis en ambas piezas paralelas que carguen sus cavezas en la fachada al Norte... hechando los suelos del quarto segundo en la pieza del angulo de madera de a ocho cargando las cavezas en la fachada de levante y en la pieza inmediata viguetas de a veinte y dos pies que carguen en la fachada del Norte... hechando los suelos del quarto tercero en la pieza del Angulo de la misma madera de à ocho y al contrario del antecedente del quarto segundo cargando las cavezas en la fachada del Norte, y en la ynmediata de viguetas en la misma conformidad. Que en la elevación del quarto tercero..., y sentando las soleras ynteriores al nivel de las exteriores hechando sus suelos de desvanes en la conformidad que los del quarto segundo expressadas en la quarta condizion y dichas soleras exteriores que deveran ser moldadas de sesma con su quarto vocel... Viv. Puerta del Sol con la c/ Carretas AVS 1.43.3 (1747).

El relleno de los entrevigados se realiza con madera o con albañilería. Villanueva escribe sobre sus tipos y proceso constructivo según se rellenen con cascote y yeso, con bovedillas, enlistonados... de todos estos forjados que habitualmente se construyen en Madrid, se refiere al más idóneo, como sigue:

> ... Los Pisos, Cielos, o suelos que subdividen las alturas de las havitaciones en las casas comunes, pueden ser de Vigas de maderas de los Marcos proporcionados a el vano de sus Cruxías sentadas como es costumbre, pero sobre soleras delgadas cuios nudillos no atraviesen los gruesos ni pasen de parte a parte; y si pueden suprimirse estas soleras, la experiencia tiene acreditado que el fuego tendrá menos comunicación. Estos suelos podrán hacerse entablados, descubiertas sus maderas, y bien labradas como es uso por el Reyno, pero en Madrid no se practica con razón; las bovedillas han sido de mejor uso; de éstas las guarnecidas sin listones, y los forxados son los que se deven preferir para precaver el fuego. Los vanos de las vigas deven distribuirse hueco por macizo, y sus entradas en las paredes serán de un grueso y medio, o dos de su marco, con las cavezas bien recividas de Yeso... (1790).

En los forjados de vigas de madera rellenos de cascote se utilizaba la técnica del *hueco por macizo* (figura 6):

> ... se enredan y tejen con tomiza los maderos, que regularmente suelen estar á distancia uno de otro del grueso de uno de ellos, de modo que la tomiza se cruce en medio de los vanos. Por la parte inferior se fija contra los maderos con clavos un tablero de tres ó cuatro tablas para que contenga los materiales que se han de echar en los mismos vacíos. Despues por la parte de arriba se van echando sobre los tableros entre las tomizas los citados materiales de yeso y cascote del

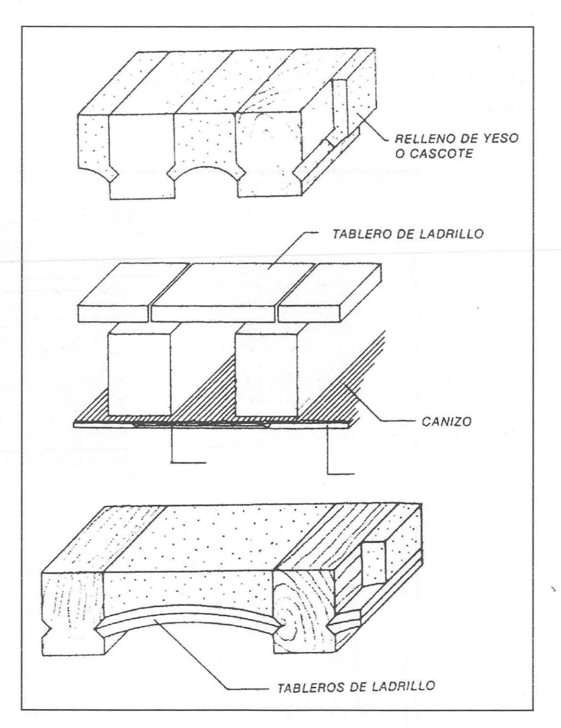


Figura 6
Construcción de forjados de madera (Úbeda de Mingo, 1984. *Arqueología urbana*)

menos pesado, mezclados y trabados uno con otro, y forja por arriba el suelo, y abajo queda hecho el plano para el cielo raso. Este modo, aunque de fácil construccion, no es ventajoso, á causa de que el relleno entre viga y viga aumenta mucho el peso de los suelos, por cuyo motivo se debe preferir el forjado de bovedillas... (Villanueva, 1826).

Los forjados de madera con bovedillas se realizan con unas piezas recuperables llamadas *galápagos*:

...Colócanse ésta entre viga y viga á el alto que están hechas unas mochetillas en ellos, asegurándola de prestado con unos clavos, por encima se llena y forja el hueco que dejan hasta enrasar con las vigas con cascote menudo y yeso. Fraguado éste, se quita el galapago, y se pasa mas adelante, si de una vez no se forja toda la bovedilla... pero la práctica del día en Madrid es de poco mas del grueso de la viga. En obras viejas se hallan de pie y medio, dos pies, y tambien de tres. Donde el yeso es de buena calidad y fortaleza, bien guarnecidas y blanqueadas las bovedillas, es obra que parece bien, y no carga ni acrecienta mucho el peso de los suelos... (Villanueva, 1826).

Los forjados de madera enlistonados o de cañizo resultan más ligeros que los de cascote y yeso y su ejecución también es más sencilla.

... Se forma clavando por abajo en las vigas listones de tablas delgadas entomizados á distancia de un dedo uno de otro, y arrojando contra ellos el yeso, se agarra y fragua de modo, que se puede igualar y allanar formando un cielo perfectamente raso... (Villanueva, 1826).

Los forjados con bovedillas fingidas se construyen con bóvedas que fingen la figura que se quiera, y pueden ser de dos tipos, de tabicado sencillo o doble cuya construcción es parecida a las bóvedas tabicadas y entablados:

... armadas con cinchones de madera recortados conforme la figura que ha de llevar la bóveda. A ellos se clavan ó listoncillos con tomiza enredada, ó cañas menudas, y despues se guarnecen de yeso ó mezcla de cal con algo de yeso en ella, para que fragüe mas pronto, y se rematan como las bóvedas de fábrica.

Forjados metálicos.

La introducción del hierro y su utilización a escala doméstica a finales del s. XIX, llevará a la sustitución de los tradicionales entramados de madera de los siglos precedentes por los forjados metálicos con viguetas de doble T espaciados medio metro, enzoquetados y forjados con botes de barro cocido y yeso negro. Todo ello se sujetaba a los muros por medio de escuadras y gatillos de hierro. Borrás y Soler al referirse a las ventajas económicas que suponía el empleo del hierro en comparación con el material tradicional, la madera, para el ámbito de Madrid, analiza los precios de los suelos resultantes según se emplee uno u otro material

Crujía (luz)	MATERIAL (madera o hierro)	Ptas/m2
7 metros	Suelos con madera de Sesmana	10
	Empleando viguetas de doble T	6,43
5,74 metros	Suelos con escuadría de vigueta	7,30
	Empleando viguetas de doble T	5,41
4,50 metros	Suelos con maderos de a seis	6,65
	Empleando viguetas de doble T	4,54
4,10 metros	Suelos con maderos de a ocho	6
	Empleando viguetas de doble T	3,62
3,60 metros	Suelos con maderos de a diez	6
	Empleando viguetas de doble T	3,34

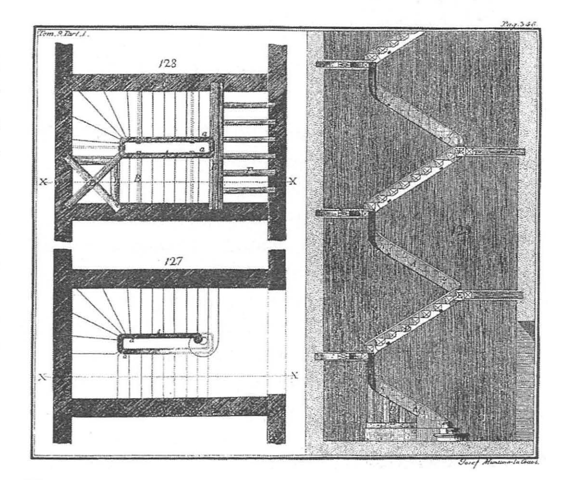


Figura 7
Construcción de escalera de madera (Beneito Bails. *De la Arquitectura civil*. Tomo II).

Elementos de comunicación vertical: Escaleras

Las escaleras se construían casi en su totalidad de madera, apoyadas sobre muro de fábrica o estructura de madera. Según el tipo de vivienda, se pueden encontrar varios tipos: escaleras de sótano, para éstas, Villanueva recomienda su construcción con piedra o sardinel en el caso de no ser de mano; escaleras de servicio, por lo general, de un sólo tramo y construidas casi en su totalidad de madera. La escalera ordinaria o principal, en caso de existir varias la segunda era de servicio, podía ser de varios tipos: de dos tramos rectos con desembarco en cuarto de vuelta o en media vuelta apoyadas en muros de fábrica o sostenidas sus zancas por pilarillos y jabalcones (llamadas a la española); o de tres o cuatro tramos y ojo apoyadas igualmente en muros de fábrica y esquinas curvas o cubillos (llamadas a la francesa). Se aconsejaba su construcción con bovedillas tabicadas y con peldañeado de baldosa o piedra.

> ... se deveran entramar los taviques para formar las escaleras, vajo de sesma, y el de la zitara que hunde vajo de tercia, y los peldaños de las escaleras han de ser de viga de pie y quarto desde el primro. sotano hasta el ultimo del desvan con sus entradas suficientes en las paredes y taviques para su seguridad: Y por que al pisso del quarto prâl empieza la escalera que tiene su entrada pr. la Calle de las Carretas de otra forma que atajo y se reduze a yda y buelta, y carga sobre el suelo un tavique que para recivirle se pondra una tercia donde cargue la division, y continuará esta pr. toda la altura como expressa el Alzado AVS 1.64.3 (1747).

En el s. XIX se recoge dentro de las Ordenanzas todo un conjunto de condiciones a cumplir:

> ... Las escaleras recibirán luces directas de los patios, sin que esto escluya la ventilación é iluminación superior, si fuese posible. Serán de ojo, y bajo ningun concepto espirales, en todo ó en parte. El ancho mínimo de los tramos será de un metro treinta centímetros, y los peldaños no escederán de la altura de quince centímetros, ni su huella, con inclusion de la moldura, bajará de veinte y cinco centímetros. Art. 11. (1862).

> ... En la construcción de las escaleras no se consentirá que sean entramados de madera los muros que determinan su caja, debiendo ser precisamente de piedra, fábrica de ladrillo o entramados con hierro; tampoco el armado de dichas escaleras será de madera, sino igualmente de piedra, fábrica de ladrillo o hierro, permitiéndose el empleo de aquel material para las tapas o huellas de los peldaños y para los tabiques. En toda casa de dos o más pisos cuya superficie exceda de 600 metros, será obligación precisa disponer por lo menos de dos escaleras. Las escaleras se dispondrán, a poder ser, de tiros rectos, espaciosas, suaves y, sobre todo, bien iluminadas; en las llamadas de ojo, cuando la superficie de éste no llegue al octavo de la planta de la caja de escalera, deberá iluminarse directamente, es decir, tomar luces de patio o calle, pero nunca cenitales. El ancho mínimo de los tramos, contando desde el pasamanos hasta el muro de la escalera paralelo a éste, será el necesario para que puedan pasar cómodamente dos personas a la vez. Art. 774-5 y 742. (1892).

Cubiertas

Los tipos de cubiertas más frecuentes en la arquitectura doméstica madrileña son: las cubiertas a la molinera, las de pares y las de par y picadero. La práctica más frecuente eran los entablados sobre los pares, sin embargo Villanueva aconseja la utilización de ladrillos sentados en su lugar o las bovedillas guarnecidas por debajo:

Armaduras

Las armaduras que se construyeron durante estos dos siglos eran, casi en su totalidad, de madera. La forma más frecuente de resolverlas era a la molinera en los patios o corralas y el par e hilera en las viviendas de doble crujía. Sobre el muro central se prolongan los pies derechos coronados por la hilera formando así un pórtico que forma el caballete desde donde se extienden los pares embarbillados a las carreras de fachada y testeros:

> ... Que sobre otro suelo se haian de sentar sus aleros de sesma vien clavados contra los maderos del suelo que sirven de tirantes y sobre otros extremos en el Angulo se ha de sentar pr. lima una tercia con un picadero donde se han de assegurar las pendolas y pares que seran de sesmas bien clavadas, y en ella y en sus cavios ... y deveran ser de buena madera y conformacion todo entablado de Chilla, y bien clavado y tejado convasisco à lomo cerrado con voquillas de yesso respaldadas y Cavalletes... AVS 1.46.3 (1747).

En la segunda mitad del s. XIX se menciona como posible, la utilización de armaduras de hierro, sin embargo, su empleo no se generalizó:

> ... Las cubiertas de los edificios se harán con pizarra, planchas de hierro, plomo, zinc ó teja, sobre armaduras de madera ó hierro. Art. 17. (1862).

Elementos de cobertura

El elemento de cobertura empleado con casi exclusividad en el recinto histórico durante estos dos siglos fue la teja, incluso en algunos expedientes se especifica su procedencia:

> ...Las armaduras seran de par y picadero, entabladas con ripia y pobladas de teja de Villaverde (1881) AVS 6.151.1

No obstante, para las viviendas que se construyeran en el Ensanche se menciona todo un conjunto de posibles alternativas:

> ... Las cubiertas de los edificios se harán con pizarra, planchas de hierro, plomo, zinc ó teja, sobre armaduras de madera ó hierro. Cuando se use la teja deberán colocarse estas á descantillon, cogiendo con yeso todos los caballetes y respaldos, y las limas-hoyas con planchas de plomo del núm. 3, sentadas sobre cama de yeso... Art. 19. (1862).

Buhardillas

La construcción de las buhardillas en las cubiertas de los edificios de viviendas de Madrid fue un tema discutido durante los ss. XVIII-XIX básicamente por cuestiones de salubridad e higiene, y en el marco de las distintas Ordenanzas se mueve el debate sobre su aprobación o prohibición:

> ... Débense elegir las buhardillas á plomo de las ventanas del edificio, siguiendo la regla ó precepto, de que esté siempre vano sobre vano, y macizo sobre macizo... No se debe poner ninguna buardilla, que el un cuchillo de ella caiga á plomo de la pared, ó cerramiento medianero, ya por el registro, ó por lo que de ella se puede verter; y en caso que la necesidad inste, se pondrá su rexa embebida en el cerco, de calidad que no se puedan asomar, ni verter cosa alguna... (Ardemans, 1716). cap. XXII, *De las buhardillas...*

A finales del siglo XVIII, Villanueva propone la supresión de las buhardillas:

> Deverán suprimierse todas las Guardillas que sea posible, por las mejores disposiciones que se puedan hazer de los Cubiertos de las Casas; pues la experiencia tiene manifestado, que por éstas se comunica el fuego con mucha prontitud a la Armaduras. (1790).

Sin embargo no llegaron a prohibirse hasta recogerse en las Reales Órdenes de 1854. En las Ordenanzas de 1892 se mantiene esta prohibición, así como destinarlas a viviendas.

> No se permitirá en las casas que se construyan en lo sucesivo buhardillas vivideras en los huecos de las armaduras de la primera crugia a la calle, pudiendo aquellas en las crugias interiores, siempre que su altura menor no baje 9 pies de luz. (1892).

Aleros y cornisas

Sobre la construcción de aleros y cornisas es de especial interés este fragmento de una memoria:

> ... y sentando las soleras yntcriores al nivel de las exteriores ... y dichas soleras exteriores que deveran ser moldadas de sesma con su quarto vocel y dos filetes se sentaran con sus buenos nudillos recividos con yesso sobre las que han de sentar compartidos los modillones ò canecillos del Alero clavados en las dos soleras, y estos deveran ser de sesma labrados a saetino con su tocadura tavica y corona. Que sobre otro suelo se haian de sentar sus aleros de sesma vien clavados contra los maderos del suelo que sirven de tirantes... AVS 1.46.3 (1747).

Villanueva, en su reiterado afán de poner fin a la rápida propagación de los incendios, añade algunos matices sobre la construcción de éstos según la forma tradicional:

> ... Se puede esperar que en los Edificios de consequencia se destierre el uso de las maderas en los Aleros, y Cornisas, lo que podrá ser de buen exemplo para las Casas más comunes, que haciéndolos de madera deven dara a sus canecillos la precisa entramada, evitando en los que sea posible la comunicación con los estrivos y Raigales de los pares de las Armaduras, e intermedianos alguna fábrica entre unos y otros para que en ella se contenga el fuego... (Villanueva, 1790).

Limas

Las limas, canalones y bajadas de agua pluviales... de hierro, embutidas en la fachada y comunicándose con las atarjeas y alcantarillas, de fábrica de ladrillo recocho...Todas las aguas de estos tejados se recogeran en canales de zinc y su conduccion por bajadas del mismo metal á las tageas y de estas a la alcantarilla general de la via publica... (1881) AVS 6.151.1

Al extremo de las vertientes de las cubiertas se colocará una línea o canalón de hierro, plomo o zinc, suficiente en su forma y dimensiones para recibir y conducir a las bajadas, que serán también de cualquiera de los materiales indicados, las aguas que se recojan en la cubierta. Las bajadas correspondientes a los faldones de las primeras crujías de la fachada se adosarán a ésta interior o exteriormente; y en este último caso, en la altura de la planta baja no sobresaldrán de la línea de fachada. Art. 738. (1892).

Chimeneas y hogares de cocina

La construcción de las chimeneas se detalla desde fecha temprana en las distintas Ordenanzas:

...quando se fabricare, sea arrimado á la pared medianera, sin que roce, ni haga rompimiento en dicha pared: y de exceder de esto, debe ser demolida; y si se hiciere arrimado á cerramiento, ha de chapar quatro dobles en todo el ancho de el cañon, hasta el primer quarto; y desde alli para arriba, se ha de apartar medio pie de dicho cerramiento... En quanto á los hogares que se hicieren sobre suelos de madera, hayan de tener debaxo unos caños de barro cocido, de los que llaman naranjeros: y quanto mayores fueren será mejor, y encima de ellos se haga su sardinel de ladrillo; y el resto, se terraplene con tierra pison, y despues se suele con ladrillo, y barro (Torija, 1661).

A finales del siglo XVIII, Villanueva dentro del informe enviado al Ayuntamiento de Madrid tras el citado incendio de la Plaza Mayor, se refiere a la construcción de las chimeneas como sigue:

...En todo lugar donde se devan colocar chimeneas, o Cañones de éstas, y de los Hogares de cocina, deverán hacerse embrochelados, de conformidad que las vigas laterales, y los brochales que recivan las cortas se aparten de la voca de la chimenea un pie y medio, y en los Cañones medio pie al exterior de su tavicado, o fábrica, y se guarnecerán de Yeso, dejando algún vacío para el ayre entre el canón, y el brochal... (Villanueva, 1790).

A finales del siglo XIX se detalla la construcción de las chimeneas, hogares de cocina y subidas de humos:

Las chimeneas y hogares de cocina deberán adosarse a muros de piedra o fábrica de ladrillo, y en el caso de no ser posible esto y de que haya precisión de arrimarlos a paredes entramadas con maderas, se dispondrán los hogares y subidas de humos de modo que sobre el grueso de dicho entramado, se construya un nuevo tabique de ladrillo hueco, del ancho del hogar, hasta el asiento de los pedestales para los remates o caperuzas sobre la cubierta. Los hogares de cocina deberán situarse sobre una bóveda de ladrillo apoyada en dos muretes de fábrica, con cadenas de hierro o sobre un macizo de fábrica cualquiera, con tal que en su composición no entre la madera, cuyo empleo sólo podrá permitirse en los llamados pilarotes de fogón; en las chimeneas francesas es preciso dejar un espacio, por lo menos, de 14 centímetros entre la planta del hogar y el suelo, rellenándolo con ladrillo hueco o tubos de barro, para evitar se comunique el calor a los pisos; se embrochalarán además los maderos de suelos en una extensión que mida 14 centímetros más por cada lado que el ancho y largo del hogar, y con hierros de T o escuadra se construirá un asiento especial para dicho hogar Art. 758-9.

Cada chimenea tendrá una subida de humos independiente. Los tubos para subidas de humos serán de fábrica de barro cocido, perfectamente enchufados y cogidas las puntas, debiendo además defenderse estos tubos con un tabique sencillo en toda su altura. Si los mencionados tubos fueran un palastro, se dispondrán dentro de otros de barro, y si de fundición de hierro, defendidos también con el tabique sencillo anteriormente citado. Al atravesar estas subidas de humos los entramados horizontales o inclinados, se construirán brochalados de modo que quede un espacio, por lo menos, de 10 centímetros entre la superficie del tabicado antes dicho, que de revestir las subidas y toda madera; espacio que se rellenará con fábrica sostenida con hierro... Art. 760-22.

NOTAS

1. Limpieza y empedrado de las calles (1761-1765), Costumbre de arrojar cosas por los balcones de las casas (1765), Sobre que las tierras y escombros se sacasen fuera de la ciudad (1774), Barrido y riego de las calles (1774-75-76-77) AVS 3.492.8.

Bibliografía

AVS (*Archivos de la Villa Secretaría*) Expedientes citados:1.46.3; 3.492.8; 1.43.3; 6.151.1; 1.64.3; 6.151.1; 1.114.26

Ardemans, T.: *Declaración y extensión sobre las Ordenanzas que escrivió Juan de Torija*. Francisco del Hierro. Madrid, 1719.

Bails, B.: *De la Arquitectura civil*. Tomo segundo. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Murcia. Valencia, 1983.

Castro, C. Mª. de: *Plan Castro*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1859.

Fornés y Gurrea, M.: *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar*. Imp de Cabrerizo. Valencia, 1841. *Ordenanzas de Madrid, y otras diferentes que se practican en las ciudades de Toledo y Sevilla, con algunas advertencias á los alarifes y particulares*, ed. 1857. Ediciones Poniente. Madrid, 1982.

Ordenanzas Municipales de la Villa de Madrid (1892). 4ª ed. Madrid Imprenta Municipal,1919.

Plo y Comín, A.: *El arquitecto práctico, civil, militar y agrimensor...*; Imp. Pantaleón Azanar; Madrid, 1767.

Sotomayor, J.: *Modo de hacer incombustibles los edificios sin aumentar el coste de su construcción*; Madrid, 1776.

Torija, J de: *Tratado breve sobre las Ordenanzas de la Villa de Madrid, y policía de ella*. A Pérez de Soto, 1760; Madrid. (Reediciones 1719, 1720, 1728, 1754, 1760, 1763, 1866).

Úbeda de Mingo, P.: *Arqueología urbana*. Madrid, 1986.

Villanueva, J.: Ordenanzas que se incluyen en el Informe enviado el 11 de octubre de 1790 al Ayto. de Madrid. (Archivos de la Villa).

Villanueva, J.: *Arte de la albañilería o instrucciones para los jóvenes que se dediquen a él, en que se trata de las herramientas necesarias al albañil, formación de andamios, y toda clase de fábricas que se pueden ofrecer; con diez estampas para su mayor inteligencia*; Zengotita Vengoa, Pedro.1827. Imp. Francisco Martínez Dávila; Madrid. Editora Nacional, Madrid, 1984.

La cúpula de la Basílica de Loiola en Azpeitia, Gipuzkoa

Luis Astrain Calvo
Alvaro Tejada Villaverde
Luis Casas López-Amor
José Mª Cabrera Garrido

La plasmación de los datos documentales y cronológicos de un monumento sobre planos se confirma como una herramienta importante para comprender visualmente el proceso de construcción, y para completar el *historial clínico* del edificio, permitiendo el análisis desde los principios de la lógica constructiva. Así pues, esa cronología gráfica, junto al necesario conocimiento de la propia materialidad del monumento (geometría, tipo de materiales, características físico-químicas, condiciones higrotérmicas, comportamiento estructural, patologías, etc.) resultan imprescindibles antes de cualquier intervención arquitectónica y/o restauradora.

Tales conceptos se han aplicado en el estudio de la cúpula de la Basílica de Loiola, con los resultados que se presentan en esta comunicación. En la misma se ordenan y plasman gráficamente los abundantes datos cronológicos de los que afortunadamente se dispone en este caso, señalándose previamente una resumidísima descripción de la cúpula como elemento constructivo.

Así pues, no se trata de hacer investigación documental o histórica, dado que ya se dispone del *Libro de Fábrica* del Santuario de Loiola 1702-1736 (Archivo del Santuario), y de otras muchas publicaciones, sino de traducir al dibujo —herramienta propia de la profesión de Arquitecto— los conocimientos existentes sobre la cronología del monumento, con la finalidad de entenderlo mejor, y comprobar la coherencia entre los datos documentales y la lógica constructiva, coherencia que en algunas ocasiones puede llegar a resultar difícil, como veremos más adelante.

Antecedentes históricos

En 1688 comenzaron los trabajos de construcción del Real Colegio de Loiola, en torno a la Casa Torre natal de San Ignacio. En 1681, en Roma, el P. General de la Compañía de Jesús había encargado un Proyecto al Arquitecto Carlo Fontana, discípulo de Bernini, y la ejecución de los trabajos se realizó bajo las órdenes de Maestros de Obra locales: Martín de Zaldúa, Sebastián de Lecuona, e Ignacio Ibero. Aproximadamente entre 1728 y 1735 se levantó la cúpula, incluída la linterna.

A partir de 1843, como consecuencia de la desamortización de Mendizábal de 1836, el Santuario de Loiola pasó a ser patrimonio de la Diputación de Gipuzkoa, que lo cede en uso a los jesuítas en 1885. A lo largo de los años, la Diputación ha participado en la conservación del conjunto monumental barroco más importante de Gipuzkoa. En especial en la última década, coincidiendo con el V Centenario del nacimiento de San Ignacio (1491-1991) se han realizado importantes obras de embellecimiento y de restauración. Con especial relevancia cabe citar el refuerzo estructural, derivado de la existencia de graves lesiones a modo de fisuras y grietas, producidas y detectadas ya en el curso de proceso de construcción (año 1735).

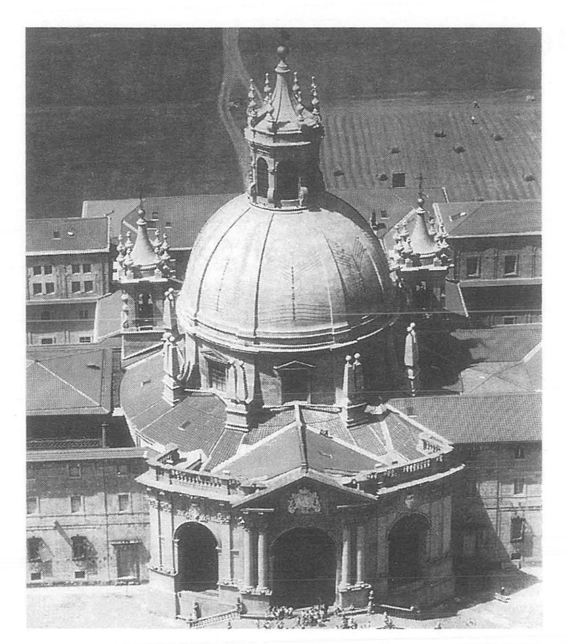


Figura 1
Basílica de Loiola

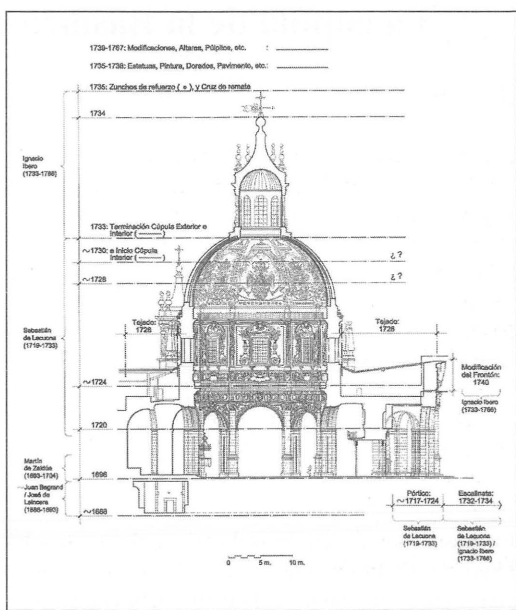


Figura 2
Cronología de su construcción (1688/1735/1767)

Figura 3

La cúpula. Descripción del elemento constructivo

Geometría

Geométricamente, la cúpula de la Basílica de Loiola consiste en una doble cáscara de piedra prácticamente semiesférica, cuyo diámetro interior es de 21 m. y el exterior de 24 m., con un óculo en la clave de 6,5 m. de diámetro, sobre cuyo contorno apoya una pesada linterna. Existe una cámara de aire de unos 30 cm. de espesor entre ambas cáscaras, y éstas se unen exclusivamente en la base de la cúpula y en el anillo sobre el que arranca la linterna.

La cáscara exterior es de piedra caliza, de 0,60 m. de espesor, y la interior de arenisca, de 0,40 m.

La cúpula nace en un tambor cilíndrico, todo él de piedra caliza, cuya altura sobre los arcos de la girola de la iglesia es de 13 m. y cuyo grosor medio es de alrededor de dos metros.

Materiales

De los ensayos realizados sobre muestras de ambas piedras, se concluye que sus resistencias a compresión son del orden de 1.000 kg/cm^2 (caliza) y 500 kg/cm^2 (arenisca). El módulo de elasticidad de la caliza es mucho mayor que el de la arenisca (del orden de ocho veces). Como es sabido, ésto quiere decir que al colocar el mismo peso sobre dos muestras iguales de ambas, la caliza se deforma ocho veces menos que la arenisca. Este dato es importante, ya que implica que el elemento verdaderamente resistente es la cáscara exterior.

Comportamiento estructural. Lesiones

Consideremos que la cúpula sólo soporta su peso propio y aislemos un trozo comprendido entre dos meridianos y dos paralelos (los que limitan un sillar, por ejemplo, figura 4).

El sillar está sometido a dos fuerzas, una según el meridiano, y otra según el paralelo; según la moderna teoría de estructuras, para una cúpula semiesférica abierta, la fuerza que sigue el meridiano (M) es de compresión siempre, mientras que la que sigue el paralelo (P), es de tracción en todos aquellos puntos que se sitúan por debajo del punto A. Es decir, por debajo de este punto, los sillares situados en el mismo paralelo tienden a separarse, para lo que es necesario que se muevan hacia fuera, produciéndose en teoría una grieta (figura 5A) entre cada dos sillares adyacentes. En la práctica, las grietas son menos numerosas, pero más gruesas.

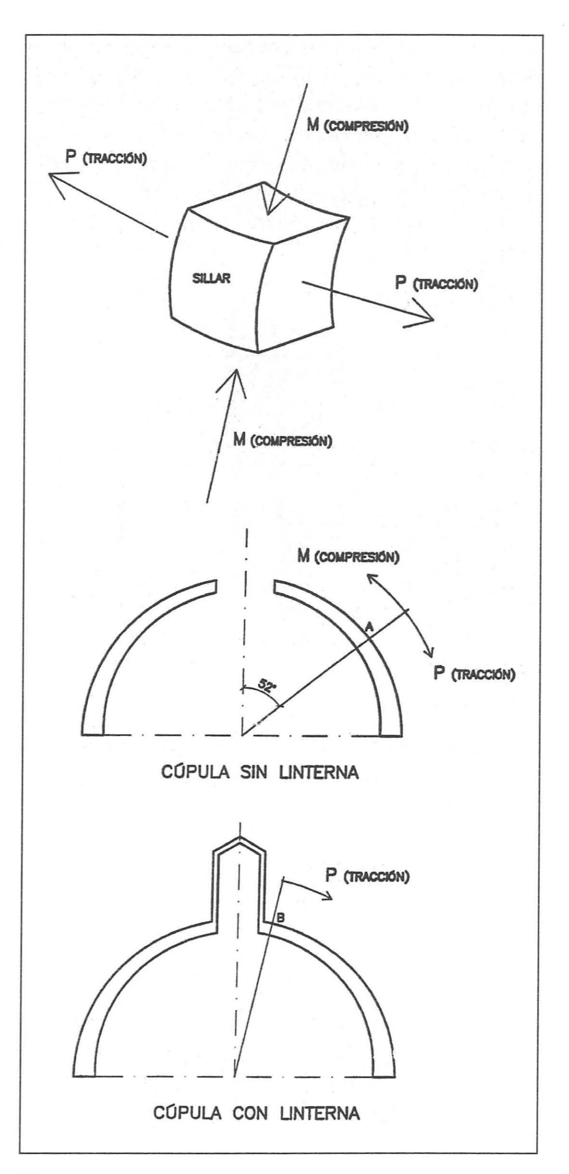


Figura 4

La situación empeora notablemente si se considera el peso de la linterna. Para el caso de Loiola, la teoría nos dice que el peso de aquella hace subir el punto A hasta un punto B situado prácticamente junto a su arranque. El resultado final es que la cúpula se agrieta de la forma indicada en la figura 5B, y que las grietas son de mayor dimensión que si la linterna fuera más reducida.

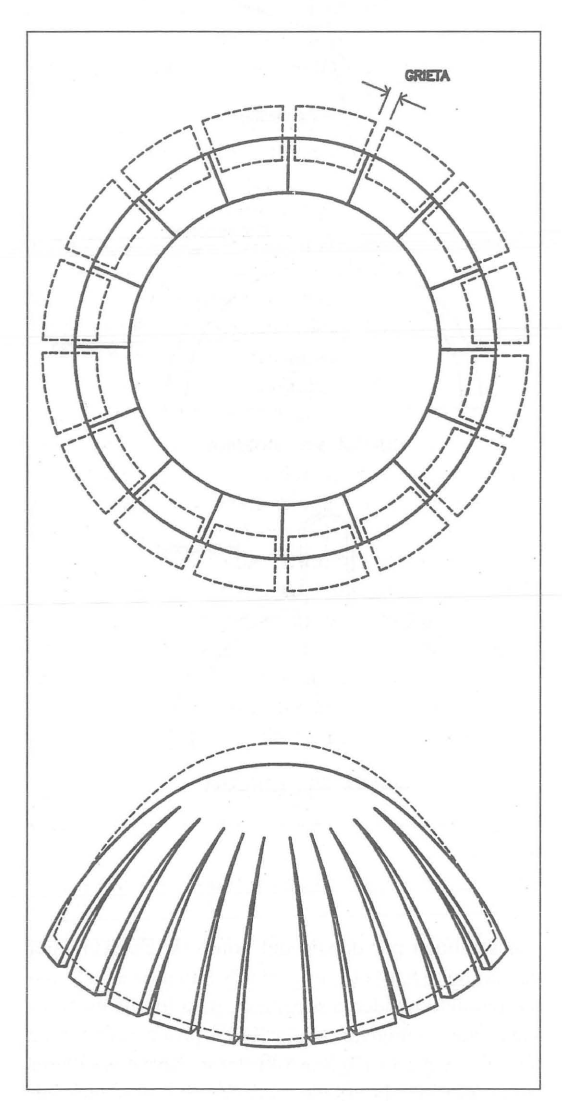


Figura 5

Decoración: construcción y revestimiento

Una particularidad importante del interior de la cúpula de Loiola es que su abigarrado programa decorativo, basado en grandes escudos cubiertos por doseles, está esculpido, en altorrelieve, en la propia cáscara de arenisca de la bóveda, y, además pintado al óleo con aceite de lino y colores muy claros sobre una preparación de calcita molida con 1:10 de arena de cuarzo fino y aglutinante de cola animal.

Ya desde su construcción en el siglo XVIII fue concebida así: esculpida para ser pintada. Posteriormente hubo un repinte en el siglo XIX.

Cronología gráfica del proceso constructivo

Redacción de planos

La plasmación gráfica de los datos documentales del proceso constructivo del edificio se ha realizado en una diversidad de planos, de la que, para esta Comunicación, se han seleccionado los siguientes:

- Plano general «O», donde se muestra el estado del edificio en los años más significativos de su construcción, desde la excavación de cimientos en 1688, pasando por la coronación de la veleta en 1735, y finalizando con los complementos y revestimientos posteriores que se fueron realizando hasta la expulsión de los Jesuítas en 1767.
- Plano de la sucesión de años 1688-1734, que muestra la evolución de las diferentes *fotos fijas* correspondientes a las épocas más representativas del edificio.

Episodios principales de la cronología de la Basílica

1696/1700

Modificaciones en la planta de la Basílica respecto de los planos originales de Carlo Fontana, ordenadas, según parece, a Martín de Zaldúa, y asumidas por éste.

1720

Consulta de Sebastián de Lecuona a Joaquín de Churriguera, Martín de Zaldúa, y Fray Pedro Martí-

nez sobre la geometría de los arcos, las bóvedas de la nave anular, y la ornamentación general. En ese momento, la construcción de la Basílica había alcanzado el arranque de los arcos objeto de la consulta, estando más avanzado el Pórtico.

1728

La utilización, documentada en el Libro de Fábrica, de «garfios en la media naranja» (noviembre/diciembre), nos indica que en esta fecha la cúpula exterior estaría ya en construcción, cuando aún no se había iniciado la cúpula interior, tal como se indica a continuación.

1730

Consulta del Rector del Santuario a tres Arquitectos de Madrid sobre el tipo de piedra a emplear en la «Media Naranja Interior»(enero/febrero), lo que demuestra que, efectivamente, en esas fechas no se había empezado la construcción de la hoja interior de la cúpula.

Resultaría del mayor interés profundizar documentalmente en los motivos —por otro lado comprensibles—que condujeron a estos tres arquitectos a elegir la piedra arenisca para su utilización en la cúpula interior. Se podría tener así más datos sobre cómo se concibió y diseñó esta parte tan relevante de la Basílica.

Utilización, recogida en el Libro de Fábrica, de un «toldo de la Medianaranja» (enero/febrero 1731; aunque ya se menciona el «toldo de la Iglesia» en septiembre/octubre 1730), lo que confirma que ya se trabajaba en la cúpula, sea la exterior —que continuaría su construcción— o la Interior, recién iniciada.

1733

Terminación de las dos cúpulas (exterior, e interior), coincidiendo con el relevo de Sebastián de Lecuona por Ignacio Ibero como Maestro de Obras, debido al fallecimiento de aquél el 8-DIC. Como dato curioso, cabe señalar que en julio-agosto de 1733 está consignado en el Libro de Fábrica el gasto de «tres pares de calzones, y tres pares de jubones para tres muchachos, que limpiaban el hueco de la Medianaranja», lo que, anécdota aparte, confirma que en esas fechas las dos cúpulas estaban terminadas y se procedía a la limpieza de la cámara de aire intermedia.

Los datos citados de 1728 y 1730 —de los que se deriva un desfase en la construcción de las dos hojas de la cúpula, siendo primera en su inicio la exterior— crean sin embargo una dificultad de comprensión desde el punto de vista constructivo, ya que por problemas de la cimbra de las cúpulas, lo lógico sería construir las dos hojas simultáneamente: Efectivamente, la solución razonable de cimbra sería la de que sobre ella apoyara la cúpula interna, sobre ésta, unos calzos para salvar el espesor de la cámara de aire, y sobre dichos calzos, que finalmente se retirarían, la cúpula exterior.

La otra alternativa sería la de realizar primeramente la cúpula Interior con su cimbra correspondiente, y, una vez finalizada esta hoja interior, acometer la cúpula exterior, apoyándose sobre la interior.

Ninguna de las dos posibilidades concuerda con los datos documentales recogidos sobre los *garfios*.

El primer caso (simultaneidad de construcción de las dos hojas), sólo podría darse en el supuesto poco probable de que dichos «garfios» se estuvieran comprando en noviembre-diciembre de 1728, pero no se empezaran a utilizar hasta a partir de febrero de 1730, estando entonces el «toldo» confeccionado por los «sastres» en enero-febrero de 1731 destinado a situarse bajo ambas cúpulas en construcción. Esta simultaneidad supone, de todas formas, que las dos hojas de la cúpula se habrían construído en sólo tres años (febrero de 1730 a julio-agosto de 1733).

El segundo supuesto (construir primero la interior, y después la exterior), supondría, además de la antelación citada en la compra de los «garfios» hasta su primera utilización (en este caso en la cúpula interior), dos hechos poco creíbles:

- Una sinrazón desde el punto de vista estructural (la exterior es más gruesa, pesada y resistente que la interior).
- El hecho probablemente inverosímil de que en sólo los tres años citados (febero de 1730 a julio/agosto de 1733) se hicieran dos cúpulas, pero en este supuesto, una detrás de otra.

La solución a estas contradicciones entre los datos documentales y la lógica constructiva podría suponer una línea de investigación interesante, relacionada directamente con el estudio de los medios auxiliares

de la construcción en la época (andamios, cimbras, poleas, etc.).

1735

Se colocan dos zunchos de hierro *(cellos)* (mayo/junio) como refuerzo de la cúpula, ya que en la consulta tenida el 18 de mayo de 1735 se señalaba que «la media naranja de la Iglesia auía hecho algún vicio», en referencia a las grietas aparecidas ya en esas fechas.

El 25 de octubre se instala la cruz de remate de la linterna, dándose por finalizada la obra gruesa de la Basílica.

1862

Repinte y redorado del interior de la cúpula.

1993

Refuerzo definitivo y reparaciones de la cúpula exterior.

Algunas conclusiones

El ritmo de las obras de la Basílica respondió más a la disponibilidad económica del momento que a la mayor o menor dificultad constructiva de cada parte del edificio. Así, una vez decidida y ordenada a Martín de Zaldúa (20 de noviembre de 1696) la modificación de la planta original de Fontana consistente en el ensanchamiento de la nave anular de la Basílica, se inicia un período de gran actividad constructiva que llega hasta 1704. Durante este período los responsables de la Compañía de Jesús daban orden de llevar un ritmo vivo en la obra («que no se levante mano de ella»), intentando conseguir cada año «quatro o cinco iladas» en la fábrica de la Basílica, por lo que se ordenaba contratar «buen número de labrantes» de piedra.

Sin embargo, a partir de 1704 y hasta 1717, escasean los recursos económicos por la dificultad en el cobro de juros como consecuencia de la Guerra de Sucesión, lo que produce una notable reducción del ritmo de obra de todo el Santuario, y una práctica paralización de la obra de la Basílica. Se llega a prescindir de los servicios del Maestro de Obras (1704), que a la sazón era Martín de Zaldúa.

Así, se llega al año 1720 estando aún la obra a la altura de los capiteles de los arcos de la Basílica, que fueron objeto, entre otros, de la citada consulta a Churriguera, Zaldúa, y Fray Pedro Martínez.

En cambio, desde 1717 (año en que se reanuda la obra de la Basílica) hasta 1734-1735, fecha en que se corona la linterna, hay un ritmo intenso de obra (a pesar de la dificultad constructiva de la cúpula, etc.), con un promedio invertido de 105.000 Reales al año que permite que, en sólo unos cuatro años (1720/1724) se ascienda desde los citados capiteles de los arcos hasta aproximadamente el primer balcón; que en sólo otros cuatro años (1724/1728) se realice todo el Tambor e incluso se pueda iniciar la cúpula; que en tres o cinco años se construyan las dos hojas de la cúpula (1728/1730/1733); y que en un año se levante toda la linterna (1733/1734).

La mera representación cronológica de los planos permite apreciar de forma visual el hecho ya conocido de que fue a Ignacio Ibero a quien le correspondió la responsabilidad de cerrar la cúpula y de levantar una linterna, cuyo tamaño resultó excesivo, siendo, según se ha comprobado en el Estudio-Diagnóstico estructural (1989-1990), una de las causas de las grietas, junto a la forma prácticamente semiesférica de la media naranja.

La plasmación de los datos documentales y cronológicos de un monumento sobre planos se confirma como una herramienta importante para comprender visualmente el proceso de construcción, y para completar el *historial clínico* del edificio, permitiendo el análisis desde los principios de la lógica constructiva. Un conocimiento profundo de estos aspectos resulta imprescindible antes de cualquier intervención arquitectónica y/o restauradora.

No obstante, pueden surgir, como en este caso, algunas discrepancias entre los datos documentales y la lógica de la construcción derivada de los planos. Estas incógnitas, sin embargo, pueden suponer unas líneas abiertas de investigación que ayuden a tener un conocimiento más completo del monumento.

El puente de Triana en Sevilla y su tiempo

José Miguel Ávila Jalvo

La labor de construir un puente sobre el Guadalquivir no debía de ser empresa fácil si consideramos que desde Córdoba hasta Sanlúcar de Barrameda nadie se atreviera a emprenderla hasta mediado el siglo XIX. Que en la Sevilla de la Casa de Contratación, una de las ciudades más prósperas de la época moderna, este salto estuviera resuelto mediante un puente de barcas, explica, sin necesidad de otra justificación, lo insensato que debía parecerle a cualquier persona experta de la zona, el apoyar la obra en el lecho del río. Esa misma prosperidad hizo que, en cuanto hubo medio de hacerlo sin apoyar en el cauce, gracias a nuevas técnicas y nuevos materiales, la Ciudad mostrara la intención de emprender la obra.

El uso industrial del hierro, y su aplicación a las comunicaciones, y el éxito de los primeros puentes suspendidos, con luces iguales y superiores a la que aquí se plantean, anima a resolver el salto de ciento cincuenta metros que, hablando en términos de distancia, separan a Sevilla de Triana. La opción de un puente colgante prospera porque salva limpiamente los problemas conocidos aunque también sirve, como es frecuente, para que entren en juego, a su rebufo, las otras alternativas disponibles. Unas, las de fábrica, que no habían cuajado desde el XV, pero que de la mano, como no, de Silvestre Pérez, resurgen con suficiente interés para intentarlo; otras, las de hierro, arcos o vigas, empezaban a tener competencia, aunque tampoco resolvían, ni los problemas de cimentación en el lecho, ni los suyos propios derivados del desconocimiento del propio material y su arte reciente.

El trabajo que presento estudia el puente metálico original empleándolo como excusa para situarlo en su tiempo. Tiempo que ocupa desde 1789[1] hasta 1874,[2] y en el que, ni el material, ni los métodos de cálculo, ni los perfiles que conforman las piezas, ni los sistemas de unión, ni los tipos estructurales propios, han madurado pero, durante el cual, los cuidados constructivos que se emplearon fueron suficientes para lograr, en un buen número de casos, el éxito. En ese plazo, la Historia de la Construcción volvió a recorrer a una inmensa velocidad; ahora con el hierro, un camino similar al seguido anteriormente en las obras de fábrica o de madera, camino necesario hasta alcanzar un razonable dominio de la técnica como fase previa a la validación científica de diseños y dimensionados.

Se realiza en este trabajo una visión parcial, limitada a la parte metálica del puente (cuya obra de fábrica y cimientos ha quedado ya adecuadamente estudiada en comunicación previa)[3] y como respetuoso homenaje a A. R. Polonceau, una de las personas que mejor supo entender los problemas constructivos que planteaba el uso de este nuevo material.

Materiales férricos

La posibilidad de emplear masivamente un material férrico gracias a una producción de calor suficiente como para obtener un metal razonablemente refinado, va a dar lugar, desde el último tercio del XVIII, a

intentos de aplicación en muchas actividades, entre ellas, las obras públicas. Para conseguirlo tiene que abrirse camino en un mundo cuyas necesidades estaban resueltas con otros materiales y desarrollar su propio arte. Habrá que inventar piezas, uniones, métodos de dimensionado, etc. Las uniones deben resolverse en frío ya que fuera de las ferrerías no hay aporte de calor. Las piezas, fundidas o forjadas, hechas con un material cuya densidad cuadruplica a la piedra, deben desarrollar formas adecuadas para resistir con el menor peso: la fundición lo resuelve haciendo elementos huecos, pero es frágil, resiste mal la tracción y tiene serias dificultades de enlace con otras piezas; el hierro forjado carece en parte de esos problemas pero no cabe fundir piezas sino que es necesario inventar la laminación y la forma de las secciones para que resulten ligeras y mecánicamente adecuadas (aunque no se disponga aún de las bases teóricas para ello). Unir palastros en ángulo recto, necesarios para cualquier labor, lleva a inventar el angular en 1817 y, como es bueno disponer de una superficie plana para resolver el apoyo de las piezas y para recibir a las cargas, se va dando a las secciones de la piezas de palastros la forma de cajón o de doble T, cuyo perfil nace en 1837 sin necesidad de esperar a saber, mediante el cálculo, que resulta mecánicamente eficaz.

La forma de las piezas de fundición[4] sometidas a fuertes esfuerzos, tenía que ser muy cuidada: lisa y sin agujeros ni nervios; ya que la velocidad de enfriamiento de este material dentro del molde se ve muy afectada por variaciones de espesor o por nervaduras y adornos, lo que provoca fuertes tensiones residuales que, dada la acritud del material, le facilitarían la rotura. La importancia de las tensiones residuales del proceso de moldeo las detectaron fácilmente al comprobar que al enfriarse una pieza de fundición de 2 a 3 m de longitud acortaba del orden del centímetro y sólo unos milímetros más cuando la pieza tenía una longitud superior a 7 m, lo que les aconsejó, dado el aumento de las tensiones residuales que debían producirse para tamaños grandes (a partir del dato anterior), limitar éste para alejarse de la rotura frágil. El hierro forjado[5] era un material más homogéneo, lo que le daba algo más de fiabilidad para resistir tracciones y además permitió trabajar sin limitación de tamaño.[6] Por otro lado, la fundición tenía mejor aplicación que el hierro forjado cuando había problemas de oxidación[7] o por sus posibilidades decorativas.[8] Ambos materiales formaban parte conjuntamente en muchas obras, colocando a cada uno en donde mejor servicio prestaba. Se elegía la fundición para elementos comprimidos (ya que al ser huecos tienen una sección aparente mayor y no suele aparecer en ellos problemas de inestabilidad y, la forja, para los traccionados (que al ser más resistente resultaba más ligera). Por último, la mayor fiabilidad del cable,[9] gracias a que el manojo de alambres permite fallos locales de poca trascendencia, permite desarrollar tipos ya conocidos antes de la era del hierro, como los puentes colgantes, pero dotados ahora de mayor rigidez para los usos del momento.[10]

Cuando quienes iban a desarrollar buena parte de los conocimientos necesarios para justificar todo lo anterior estaban aún por nacer, todo lo anterior estaba ya establecido; se había resuelto el *cómo* a la espera de que llegara el *cuánto* y, para evitar el tedio, Chaley se entretuvo en ir haciendo el puente más largo, en Friburgo, acabado en 1834 y de 273 m de luz; Brunel, en 1836, termina el reconocido como de los más bellos, en Bristol, de sólo 214 m y Teldford completó 1117 a lo largo de toda su vida.

FORMAS HISTÓRICAS

El arco de fábrica fue, a lo largo de la historia, el tipo constructivo que veníamos empleando a la hora de construir puentes. Esta forma, que se había ido decantando durante milenios, resultaba técnica y económicamente razonable y aseguraba el éxito en la empresa de cruzar vados con una frecuencia adecuada. La bóveda inferior y unos rellenos más o menos compactos era todo lo que necesitábamos para alcanzar la cota de calzada.

Cuando el material empleado fue la madera, a veces imitábamos los arcos que tan apropiados resultaban en fábrica, pero las peculiaridades de este material decantaron, como siempre ocurre, hacia tipos específicos: la viga, nacida de dejar caer piezas enterizas entre los apoyos empleando para ello poco más que troncos de árbol; el puente de jabalcones, obra de carpintería que reduce la luz entre apoyos usando piezas inclinadas (o sus variantes, como las realizadas con ménsulas que van volando desde los extremos hasta alcanzar una distancia similar al tamaño de las piezas disponibles) y, finalmente, los puentes colgantes, que combinan madera y cuerdas para per-

mitir el paso de cargas de poca intensidad. Salvo en zonas con abundancia de madera y carpinteros, como Suiza, el puente de madera sirvió, con mayor frecuencia, para resolver problemas de corta duración: pontones con los que cruzar ríos que se interponían en el camino de las tierras de conquista o sustituciones provisionales de tramos de puentes de fábrica destruidos por riadas en tanto se conseguía recaudar fondos para la reconstrucción del originario.

Formas metálicas

Arcos

Los primeros puentes metálicos copiaban al arco de fábrica: hicimos dovelas de fundición huecas, que construíamos, casi como si de sillares de piedra se tratara, salvo que, la dificultad de fundir formas prismáticas de aristas vivas y de conectarlas junta contra junta, nos llevó, en seguida, a fabricar dovelas cilíndricas que daban lugar a arcos independientes en lugar de a la bóveda tradicional que ocupaba toda la anchura del puente. La importante resistencia del nuevo material evitó llenar de arcos toda esa anchura y pusimos sólo unos cuantos por puente.[11] Con el tiempo, parece ser que debido a que el elevado número de juntas y el aumento de las luces daba problemas, abandonamos el sistema de dovelas para pasar a fabricar piezas (siempre de fundición) que formaban, con pocas de ellas, toda la longitud del arco.[12] Más adelante, Polonceau dio un paso más al introducir madera en el interior del arco, con las ventajas que luego veremos.

Inicialmente, los puentes se construían con arcos múltiples y posteriormente se redujo el número llegando hasta tener sólo dos.[13] Esta reducción era razonable ya que al reducir el número, aumenta la carga por arco y, en consecuencia, su sección, lo que reduce el material dedicado a evitar la inestabilidad. Con ello también disminuye el número de barras (al haber menos tímpanos) y en los arriostramientos (al haber menos entre-arcos) y, aunque el material colocado fuera el mismo, el número de uniones y la mano de obra se reducen brutalmente. Menos arcos supone más distancia entre ellos lo que lleva a un aumento de la sección de las vigas principales del tablero pero tampoco es un aumento tan claro si se considera que los tableros requerían cada vez más rigidez al ir aumentando la luz de los puentes con el tiempo, al conocer mejor la exposición a vientos laterales y al crecer la magnitud de las sobrecargas.

Construido el conjunto de arcos que sirven de base al puente, el tablero no introduce novedades en nuestros conocimientos previos,[14] pero lo que sí va a ser una novedad técnica es el cómo resolver el relleno que una el tablero con los arcos. Hay que inventar algo que pierde su cualidad de masivo (con la de ventajas que eso tenía) para pasar a estar formado por piezas cuya forma y cuya conexión a los restantes elementos habrá que diseñar y de las que ni siquiera sabremos, hasta bastante tiempo después, cual es su dirección correcta, si colocarlas en vertical, en horizontal o inclinadas. En general, desde luego con arcos de fundición, estos elementos del relleno compuestos con barras rectas o curvas situadas en los tímpanos, también eran fundidos y se conectaban con los arcos generalmente en la sección situada en la unión entre dovelas o en resaltos dejados al moldearlas para esa finalidad. Para ello, los extremos de las barras del tímpano se construían con formas específicas, de modo que el mismo conjunto de pasadores que cosían a dos dovelas consecutivas pinzaban a las piezas del tímpano. Respecto de la unión con el tablero, como las vigas de éste eran de hierro forjado (no conectable al hierro colado), en la cabeza de los montantes del tímpano se construían cajas en la que se introducían los perfiles superiores.

Una vez el puente construido y en uso, al paso por él de sobrecargas móviles, vibraba, lo que era una novedad que nos tenía reservada el hierro ya que el cambio más trascendente que se está produciendo en esta nueva forma de construir es la diferencia entre el descomunal peso del puente de fábrica y la liviandad del puente de hierro. Novedad cuya importancia no estuvo tanto en sí misma como en que no supimos que lo era. Esta reducción de masa y el empleo de un material más resistente van a permitir aumentar el alcance y la sobrecarga pero la rigidez que proporcionaba el peso propio la hemos perdido justo cuando además va a aparecer la nueva gran sobrecarga del XIX: el ferro-carril.[15]

En aquellos momentos, estas vibraciones debieron producir con cierta frecuencia roturas locales de las piezas del tímpano que tuvieron entretenidos al personal de mantenimiento y, a los técnicos, en busca de solución. Las deformaciones del arco, para ajustarse a la forma adecuada a las sobrecargas de cierta enti-

dad (sin llegar a los trenes, valen tranvías y carros) parecen suficiente causa para producir la rotura frágil de alguna de las débiles barras de fundición del tímpano o de los arriostramientos lo que, unido a razones estéticas, llevó, a veces, a colocar aros cuya flexibilidad parece que redujo el número de roturas. En dirección contraria, también se optó por un diseño rígido del tímpano, ya que solidarizaba arcos y tablero, cuya rigidez conjunta reducía las vibraciones.[16] Con el tiempo, del dominio de la fundición se fue pasando al del hierro forjado, tanto en arcos como en tímpanos para aprovechar las ventajas de la ductilidad.[17]

Muchas ventajas de los puentes de arcos se perdían si eran de varios tramos ya que, a diferencia de las obras de fábrica, se disponía ahora de la alternativa de los puentes rectos que en general eran más económicos para luces cortas y para labores de reparación y recalce.[18]

Puentes rectos o vigas

La inmensa dificultad que supone realizar las uniones con las que enlazar las piezas al usar un material intratable una vez que sale de los hornos, unido a tener que construir nuevos caminos a la velocidad que demanda el ferrocarril, va a producir nuevos tipos de puentes de madera que salven luces importantes y trasladen grandes cargas. Estas formas son vigas hechas con piezas que genéricamente se llamaron tablones,[19] unidas con pasadores y cuyo conjunto queda definido por un cordón superior y otro inferior,[20] generalmente paralelos, unidos entre sí por un enrejado o por una celosía, que le acabaría dando su nombre definitivo. Fueron inventadas por Town y consistían en dos cordones paralelos y un enrejado de diagonales en el alma. Sus posteriores variantes, desarrolladas precisamente por la distinta resolución de las uniones y los distintos materiales empleados en cada familia (aunque lo más aparente sea la diferencia en la disposición geométrica de las barras), va a producir el nacimiento en el terreno de la construcción de un mundo de patentes que dominará la contratación de las obras durante cincuenta años.[21]

Debe comprenderse que el motivo de estas patentes no es tanto registrar una forma geométrica como un modo de transmitir esfuerzos (la mitad de ellos de tracción) entre las piezas y nudos que forman la viga y cuyos materiales férricos resisten mal las tracciones mientras que la madera, que sí la resiste, tiene serias dificultades en trasmitirlas a las otras piezas que confluyen en el nudo.[22] Para conseguirlo combinan hierro y madera, (o madera y madera en el origen) en las dos familias que forman la celosía y así se reduce, de paso, la debilidad que produce el elevado número de agujeros de los extremos de las piezas a la hora de conformar el nudo y que son necesarios para permitir el paso de roblones y pasadores. Inicialmente, predominaron las patentes con familias múltiples de diagonales y montantes para aprovechar la longitud de la barra para distribuir más suavemente los esfuerzos al multiplicar el número de uniones. La mejora de la calidad del hierro supuso subir las tensiones de trabajo y reducir las secciones, lo que unido al aumento de la luz y, consecuentemente del canto, volvió a hacer aparecer los elementos múltiples en el alma para reducir la inestabilidad de las barras comprimidas.

Hablando de patentes, vuelve a surgir Polonceau en 1837 con la más famosa de las suyas, la armadura de cubierta, que aclara aquí bastantes de los problemas de la obra metálica y explica mejor que en los casos recién comentados, la diferencia entre el problema geométrico y el problema constructivo. Lo que Polonceau consigue con su estructura no es una forma más o menos afortunada, que lo es, sino construir una cercha con el menor número de piezas diferentes y cuyas uniones son tan elementales que sólo requieren dejar un agujero hecho en los extremos de cada barra a la hora de fabricarlas. En la versión más simple sólo se necesita la pieza que hace de par, las dos manguetas comprimidas situadas en el centro de los pares y las cinco barras que trabajan a tracción y que son, sean diagonales, tornapuntas o tirante, todas iguales. Resolvió de un plumazo todos los problemas estructurales y constructivos de las cubiertas de luces medias y grandes por lo que no es de extrañar que, hasta que De Dion inventa el pórtico triarticulado a finales de siglo, todo se resolviera con esa forma.

Volviendo a las vigas de celosía, la enorme eficacia mecánica de estos puentes, que comenzaron siendo de madera, les lleva a un profundo desarrollo según avanzan las técnicas constructivas y la fiabilidad del hierro trabajando a tracción o la entrada del acero[23] y, aunque pasaron por una racha de desastres, hay que reconocer que se les pidió mucho, para ser unos recién nacidos, cuando se les hizo enfrentarse con la terrible sobrecarga del ferrocarril.[24]

A la vez que se desarrollan diversos tipos de celosías, nacidas como derivación de la obra de madera, se dispone, dentro de este tipo, de la viga de alma llena o de palastros, que nace directamente de la aplicación del hierro forjado y sus descendientes (pudelado y acero) y que siempre daba soluciones más rígidas que la de celosía en los ensayos de aquella época, aunque hay que considerar que eso ocurría para pequeños tamaños, una distribución no muy adecuada de los enrejados y dificultades de realización de las uniones.[25] En todo caso, no sólo se atendía a cuestiones mecánicas a la hora de decidirse por un tipo de puente. Las guerras afectaban la decisión en función de la facilidad de destrucción.[26]

Entre los tipos de alma llena merece una especial mención el puente formado por vigas celulares, aunque sólo fuera para mencionar el puente Britannia construido en 1850 por Robert Stephenson, que sin embargo era hijo de George, (el inventor de la locomotora), y que se adelanta a su tiempo al introducir rigidizadores de alma, vanos continuos de hasta 142 m, ideando un modo de establecer la continuidad al construir el refuerzo negativo de los cordones superiores con el apoyo descendido que luego lo eleva para ponerlo en carga y circulación interior de los trenes por el interior del tubo.[27]

Puentes suspendidos o colgantes

Su empleo comienza muy pronto, ya que es la forma natural de saltar vados con un material que se creía que resistía bien la tracción. Comenzaron siendo de cadenas para pasar enseguida a ser de cables o de elementos más complejos debido a la reducción de costo y de peso.[28]

Son muy económicos, por lo que a pesar de las catástrofes, siguieron en auge ya que a veces fueron la única opción posible. La poca relevancia del peso propio y la fuerte luz hace que la catenaria cambie de forma ostensiblemente con sobrecargas locales además de con el viento, lo que sumado a las vibraciones, los convirtió en elementos muy criticados. Un resumen de una de estas críticas nos enseña cuales eran los criterios de diseño empleados en aquel momento:

> Si las péndolas se colocaran inclinadas y en dos familias la sobrecarga concentrada que se encuentre en el tablero ascendería afectando a una longitud mayor de la catenaria en lugar de hacerlo en un sólo punto y, consecuentemente, produciendo menos deformación en el cable y menos vibración. Del mismo modo, las vigas del suelo del tablero también deberían ir cruzándose como enrejado múltiple para repartir la sobrecarga en varias péndolas en lugar de a una. Si además, en lugar de una catenaria arriba hubiera también otra invertida abajo, de modo que las péndolas siguieran desde la de arriba hasta la de abajo pasando por el tablero, se acortarían las vibraciones al tener siempre barras traccionadas. Una vez que el elevado empleo del hierro laminado ha eliminado buena cantidad de las prevenciones que había contra él (ya que asegura una buena fiabilidad a tracción), podría emplearse palastros unidos con roblones en lugar de cables, que se deforman mucho. También, sería conveniente aumentar la altura de la catenaria ya que se construyen muy tendidas. Finalmente, mucha de la culpa de las caídas de estos puentes se debe a haber desestimado el gran principio que aconseja emplear al mayor número de elementos en el traslado de las cargas.[29]

Polonceau también dedica un capítulo especial para comparar estos puentes con los de arcos inferiores al tablero:

> Los de arco presentan más seguridad porque se limitan a empujar contra los estribos mientras que los suspendidos, con su continuo tirar, tienden constantemente a arrancar las amarras. Los arcos son múltiples por lo que el tablero, que a causa de la humedad y el paso del tiempo va debilitándose y deformando, sólo tiene como consecuencia el que apoyará más en unos que en otros, mientras que en los colgantes, los tableros apoyan en las péndolas sólo por sus dos extremos, por lo que la rotura de cualquier unión lleva al desastre. Al menos en Inglaterra, cuando hay doble circulación se obliga a colocar catenarias centrales, como en Menai. Es incomprensible que se deje apoyar sólo en los extremos a puentes colgados de 7 m de ancho y que cuando el puente se hace con arcos inferiores de hierro o madera se obligue a disponerlos a distancias menores de 3 m. Los puentes colgados de cable son más económicos que los de cadenas, pero menos estables y duraderos, ya que los hilos se oxidan. Los colgantes, en todo caso, cubren una banda que no resuelven los demás: terrenos escarpados o falta de gálibo inferior pero deberían tener al menos tres catenarias.

En su texto se evidencia una cierta defensa de los puentes de arco y, como persona que trabajaba de inspector de puentes y calzadas de Francia, debe en-

tenderse que esta defensa es debida más al tipo de problemas que tuvo que atender que a una defensa subjetiva de quien ha hecho un puente de arcos. Alguna de sus afirmaciones, como la de que las amarras se arrancan la he trascrito porque creo que no debe ser interpretada como algo que haya visto y que cita anecdóticamente o con cualquier intención propagandística, sino como algo que ocurre en puentes que, por su ocupación, ha comprobado de acuerdo a los conocimientos de su tiempo y se encuentra con que se ha producido un fallo a pesar de la corrección técnica según el arte de aquel momento.

El puente del Carrousel

La unión entre las piezas de fundición para formar los arcos

Los arcos hay que construirlos con muchas piezas de hierro colado que deben conectarse entre sí para trabajar solidariamente. Para asegurar que esto es así no basta con enlazarlas mediante pasadores ya que las tensiones se concentrarían en esos puntos contra un material que admite muy mal los esfuerzos concentrados. Además, los pasadores y los roblones tienen holguras a su paso por el taladro que producen una entrada en carga irregular y contra la que se luchó con primitivas mezclas.[30] Las imperfecciones del proceso de fundido no debían asegurar entonces una planeidad de estos bordes y es claro que aumentar al máximo la superficie de contacto es vital para reducir tensiones, evitando pues el contacto irregular que, además de producir concentraciones de tensión, desarrolla deformaciones globales en la geometría.[31]

Polonceau estaba seriamente preocupado por conseguir un adecuado ajuste entre estas piezas y, para resolverlo tenía pensado inicialmente introducir, una vez colocadas las piezas en su lugar, finas lamas de hierro en las holguras, ligeramente cuneiformes, que luego se serrarían para dejarlas ocultas. Posteriormente planteó dejar en las piezas unos entalles que permitieran la introducción de cuñas de mayor entidad en varios puntos a lo largo de la línea de contacto de las piezas consecutivas. Finalmente, este hombre, que afirma tener poca experiencia en la ejecución de obras de fundición, optó por una solución realmente excepcional: rellenar, de forma mecánicamente activa, el interior de los arcos con listones de madera embreados. Solución con la que resolvía muchas más cosas y que él mismo va enumerando:[32]

— Facilita la puesta en obra de las piezas de fundición ya que van haciendo al arco algo autoportante según se va construyendo (aunque se necesitarán algunos apeos)
— Una vez el puente en uso permite sustituir piezas de fundición dañadas ya que la madera interior sirve de obra auxiliar sin necesidad de mayores gastos en sustentación
— Aumenta la resistencia del arco respecto de la que tendría el tubo vacío
— Mejora la resistencia al choque de la fundición evitando que en muchas ocasiones se produzca la rotura por acciones accidentales de este tipo
— Mejora la resistencia a flexión del arco ya que la fundición casi no vale para ello, lo que permite que admita mejor las sobrecargas localizadas sin necesidad de aumentar el peso propio para mitigarlas
— Disminuye las vibraciones. Es bien conocido que los cilindros llenos de mortero, arena, yeso o betún vibran menos que vacíos y, puestos a rellenar con un material mecánicamente inerte, mejor resistente
— Algunas personas, aceptando las ventajas iniciales del relleno de madera, dudan de su durabilidad ya que el betún fermenta y pudre la madera. Sería una opinión fundada si la madera estuviera húmeda, con savia, o si hubiera huecos de aire entre ella y la fundición que no se rellenaran.

De este modo, su preocupación acerca de la conexión entre las piezas del arco dio lugar a esta mejora técnica y pasa a describir al proceso a seguir con la colocación de la madera:

> Los arcos se rellenan con 9 grandes listones de pino del Norte de entre 10 y 20 m de longitud y de 55 mm de grueso que se embetunan por todas sus caras. Con esta longitud se tiene asegurada la conexión entre varias piezas de fundición así como el que tales listones se vayan empalmando en secciones distantes, de modo que en cada sección siempre hay al menos 8 tablones resistentes. Es como tener un arco de madera que al estar envuelto por el hierro es como si fuera de una pieza. En realidad, mejor, ya que suponiendo que se encontrara algo de ese tamaño habría que curvarlo (lo que gastaría tensiones que aquí no se gastan), no tendría la misma regularidad de las fibras y no se podrían evitar nudos y otros defectos naturales. Si los listones de madera se hubieran colocado en vertical su eficacia hubiera sido mayor, comenta, pero entonces no se les habría dado la forma del arco tan fácilmente.[33]

Hace también, como era costumbre, unos ensayos previos: rompe varias piezas cilíndricas pequeñas de fundición llenas y vacías para medir la variación de resistencia que supone la introducción de la madera:

> Para conocer el aumento de resistencia que se puede conseguir con cilindros de fundición, rellenando su interior con madera, he probado 4 tubos: 2 de fundición dura y 2, dulce. Cada uno de 1 m de longitud, 6 cm de diámetro exterior y 5 mm de espesor. Inserté, en dos de ellos, unos cilindros de madera previamente embetunados aunque su conexión con la fundición ha sido muy imperfecta por las irregularidades del interior. El ensayo consistió en romper estas piezas trabajándolas como viga aislada sobre dos apoyos con una carga concentrada en el centro y obtuve los siguientes resultados:

El cilindro de fundición dura rompió con	680 kg	flecha	6 mm
El mismo, con madera dentro	1.040 kg		8 mm
El cilindro de fundición dulce	1.080 kg		10 mm
y, el mismo con madera	1.450 kg		12 mm

> Siendo insuficiente experiencia para conclusiones generales, el experimento muestra que la colocación de madera dentro es muy beneficiosa para la resistencia.[34]

Los tímpanos

Aquí Polonceau vuelve a reestudiar lo construido hasta el momento. Ya se habían hecho puentes cuyos tímpanos estaban formados por aros pero, dentro de esa fisonomía, que elige, dice, porque la forma circular es la más perfecta y resistente y, además, porque la forma de anillo es la más adecuada para la misión del tímpano, que es la de amortiguar las vibraciones del tablero producidas por las cargas móviles, la distribución de aros y su diseño queda modificada con respecto de lo hecho hasta entonces y ampliamente mejorada por él:

> Los tímpanos se rellenan con anillos similares a otros puentes, pero a diferencia de ellos, cuyos aros necesitaban un elemento intermedio de conexión al arco también de fundición, aquí cada aro está formado por tres: dos exteriores y uno central de diámetro menor, de modo que el rehundido central hace de acanaladura en la que se introduce la protuberancia que forman las piezas fundidas del arco. Los aros tampoco son tangentes entre sí como en los otros puentes porque sólo son necesarios debajo de las vigas de apoyo del tablero, de modo que se colocan separados a esa distancia y, entre ellos, he dispuesto un codal que los une para reducir la deformación que tendría cada aro si fuera independiente. Esto ahorra material.[35]

Puede que eso ocurriera en París, pero no en Sevilla donde esas distancias no son uniformes. Quizá fuera una buena intención que no se llevó a cabo en ninguno de los dos sitios o sólo en Sevilla, donde se había especificado que el tablero fuera distinto, para evitar el uso de la madera, manteniendo nuestro ancestral cariño hacia este material (que se sustituyó por un entrevigado de palastros que servían de fondillo a un relleno sentado con yeso y que lógicamente estaba corroído unos años después),[36] y que eso produjera una alteración del diseño.

El puente de Triana

El interés mantenido por Sevilla en la construcción de un puente que sustituyera al de barcas cobra vigor gracias al desarrollo de las técnicas del hierro. Las miradas se fijan en los puentes colgantes que, en el caso de esta ciudad, tenía la ventaja de evitar el apoyo en el río que tanto preocupaba y el inconveniente de la cantidad de edificios que debían expropiarse y demolerse para permitir el anclaje de los cables en el terreno cuyas amarras se situarían lógicamente lejos del cauce.[37] Aparecen además, como quedó dicho, partidarios y proyectos de varios puentes de piedra y, finalmente, entra en juego la posibilidad de construir uno formado por arcos metálicos imitando a otro que recientemente se había inaugurado en París. Una réplica.

Las nuevas obras de hierro tienen otras peculiaridades no citadas aún en este trabajo: repetitividad, empleo de elementos seriados e, incluso se llega a la venta por catálogo.[38] Ya no hay que confiar en que el artífice mantenga el estilo que te hizo contratarle sino que te puedes comprar directamente lo que de él te guste, darte un capricho sin correr riesgos. Ni hay que traerlo para que haga algo distinto, como se hacía con las obras de piedra, porque el hierro había creado otros hábitos también en ésto. Además, hubiera sido difícil contar con la colaboración directa de Polonceau que tenía ya una elevada edad y que de hecho muere en

1847, cuatro años antes de concluir el puente de Isabel II. Por otro lado, para la defensa de los autores estaban las patentes, ya mencionadas, y que cobran protagonismo ante este estado de cosas.[39] Es de suponer que, al igual que hizo con otros trabajos, Polonceau registraría su puente en su momento y, por otro lado, los duques de Montpensier, con residencia en Sevilla, conocen el de París y se encaprichan de él, convencen al Cabildo para que lo incluya como opción y ésta resulta ganadora. No es de extrañar pues, que el puente de Triana sea tan parecido al del Carrousel, para lo que basta el abono de la licencia de la patente correspondiente, lo que es extraño es que no fuera igual, siéndolo casi la longitud a cruzar. De modo que en Sevilla se hizo una obra de hierro aplicando de él todas las posibilidades técnicas y de mercado. La ciudad no quiso correr riesgos y compró lo que le gustaba y debió gustarle mucho a juzgar por el elevado empeño de su población en mantenerlo, por lo que gracias a ella y a una muy acertada obra de conservación de los arcos y tímpanos, a cambio de sustituir el tablero para mantener el puente en uso, lo disfrutamos.

NOTAS

1. Cuando se termina de construir el puente de Coalbrookdale sobre el Severn por Pritchard, Wilkinson y Darby, considerada primera obra completa de hierro.
2. Aunque hay muchas fechas posibles, se podría indicar ésta como la del nacimiento del cálculo técnico de estructuras con la publicación de los trabajos de Mohr (Vid. Ortiz Herrera, Jesús e Hierro Sureda, Jesús: *El desarrollo histórico de la Construcción metálica. Intervención en estructuras metálicas.* Curso de análisis estructural e intervención en los edificios (dir. por J. M. Ávila Jalvo). C.O.A.M., 2000).
3. Graciani García, A.: «La construcción del puente de Isabel II de Sevilla. Los problemas de cimentación». *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Madrid, 1996, pp. 265 y ss.
4. Sus tensiones admisibles estaban en 5 KN/cm^2 a compresión y 1 kN/cm^2 a tracción.
5. Sus tensiones admisibles estaban en 6 kN/cm^2 a compresión y de 2 a 6 kN/cm^2 a tracción.
6. Molinos, L.: «Consideraciones que pueden servir de guía en la elección de un sistema de puentes», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1855. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1855 pp. 54 y 71.
7. Una pieza expuesta a la humedad pierde 0,87 mm. en 100 años y 5,5 mm. en ambiente marino («Los puentes de fundición comparados con los de hierro forjado», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1859. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1880, pp. 188, 201, 223, 235).
8. La fundición se acomoda más en puentes urbanos por ser más fácil su decoración aunque los puentes de fundición son más caros, posiblemente por tener que asignarles menores tensiones que a los de hierro dulce (Ut supra).
9. Admitía 15 kN/cm^2 a tracción.
10. «Los puentes de fundición comparados con los de hierro forjado»... Op. cit.
11. Dos puentes de dovelas de fundición, a imitación de sillares de piedra son el puente de Sunderland sobre el Wear, fabricado y patentado por Paine y montado por Burdon, de 1796 y con 70 m. de luz, y el de Buildwas, de Telford, sobre el Severn, de 40 m. de luz (Benévolo, L.: *Historia de la Arquitectura Moderna.* Gustavo Gili. 6ª ed. ampliada. Barcelona, 1987, capítulo I).
12. Cada arco del puente de Coalbrookdale (aunque sea anterior a los citados) está hecho de sólo dos piezas unidas en la clave debido a dos circunstancias: la ferrería estaba en el mismo lugar de construcción, lo que reducía el problema del transporte, y la imaginación de Wilkinson formaba parte de la empresa. Rennie, en 1818, en Southwark, con arcos de 75 m. de luz, cambia las dovelas (que daban lugar a los puentes llamados *de bastidores*) por piezas de fundición que tenían 6 m. de longitud, 2 m. de grosor y 9 cm. de espesor («Los puentes de hierro», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1861. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1861, p. 37).
13. El modelo de George Martín consiste en colocar dos cuchillos en lugar de cuatro o cinco, de modo que las vigas principales del tablero están formadas por un tramo, entre los dos arcos, y dos vuelos, lo que asegura que la carga permanente se reparte entre ambos, cosa que no ocurre cuando son muchos, en cuyo caso, por sus diferentes condiciones, cada uno carga una cantidad incierta («Los puentes de fundición comparados...»), op. cit.
14. Habría que decir que lo que aparece de nuevo aquí es el empleo del término *tablero*, adecuado a estos nuevos puentes y que viene a sustituir al de calzada, seguramente más adecuado para los masivos.
15. Era así como se escribía antes.
16. Las vibraciones de los arcos de fundición se reducían al unirlos al tablero mediante tímpanos hechos con piezas cruzadas o elementos macizos. A veces, se ha propuesto rellenar los tubos con hormigón o betún para reducir el problema al aumentar la masa. La forma elíptica dada por Polonceau a sus tubos mejora la rigidez respecto a la forma circular (Molinos, L.: «Consideraciones que pueden servir de guía en la elección de un sistema de puentes», op. cit.)
17. Aunque el precio unitario del hierro forjado era mayor, los puentes de arco fueron sustituyendo a los de fundi-

ción por diversos motivos; la deformación ante sobrecaras de uso era sensiblemente menor, lo que reducía la necesidad de poner carga muerta como se venían haciendo en los de fundición para lograr el mismo objetivo, la mayor resistencia a tracción permitía un mayor trabajo a flexión del arco ante estas caras variables, con lo que los tímpanos y el propio arco pueden aligerarse. Se han estudiado arcos de 25 a 50 m., obteniéndose un costo relativo del 65-70% del hierro forjado contra el colado(«Los puentes de fundición comprados...», op. cit.

18. Los puentes de varios vanos no conviene que sean de arcos porquue obligan a las pilas a resistir como estribos (por si algún tramo quebrara). Si a pesar de ésto se hace, no conviene que las pilas sean de fundición sino de fábrica, para evitar que transmitan vibraciones de unos arcos a otros, como ocurre en el de Les Arts (Molinos: op. cit.).

Sin considerar el ahorro que supone el que las pilas no tengan empuje sino sólo el del propio puente, y fijándonos en la obra metálica, los puentes rectos pesan menos (81 a 92 % para luces de 25 cm. y 50 cm.) que los de arco, si se trata de tramos independientes y (79 a 88 % con esas mismas luces), en tramos continuos. Para luces mayores, el arco cobra ventaja («Los puentes de fundición comparados...», op. cit.).

Si una pila asienta en el terreno más de lo debido, la reparación de un puente recto es elemental y la de uno de arco puede ser grave (Molinos: op. cit.).

19. Motivo por el que esos puentes se llamaron *de tablones* en Norteamérica (y vigas americanas en Europa).

20. Se llamaron largueros o fajas (Saavedra, E.: «Vigas de celosía», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1859. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1859, p. 117).

21. En 1938, Warren y Morzani patentan en Inglaterra la viga de madera realizada con dos familias e diagonales isósceles de la misma inclinación y formadas con piezas simples sin cruzarse arias familias dentro del alma) y que posteriormente pasaría a ser toda metálica perviviendo hasta hoy. En 1840, Howe patenta la viga de madera con montantes traccionados de hierro con variantes celosías dobles, simples, múltiples,...). Fue muy extendida, mientras mantuvo los dos materiales, pero desapareció su uso al quedar sólo el de hierro. En 1844, Pratt, americano especializado en caminos ferrovarios, patenta la de montantes comprimidos de madera y diagonales de hierro (inicialmente múltiples luego o dejó en una por recuadro). También sobre vivió hasta hoy (Ortiz Herrera et alt.: Op. cit.).

22. Los ensambles tradicionales de la carpintería de armar traducen cualquier esfuerzo de las piezas a las que une, al de compresión (no hay otra posibilidad duradera si se quiere aprovechar a favor de la merma de la madera)

23. La obra de estos puentes era unitariamente más económica que los de arco ya que su construcción sólo exigía cortar las piezas a la longitud determinada, asarlas por una taladradora para hacer los pasos e los roblones, trasladarla a obra de manera bastante eficaz dada l uniformidad de as piezas desmontadas montarla, muchas veces con poco andamiaje, gracia a la suficiente rigidez que va adquiriendo a propia obra, aunque esté a medio terminar, ante las cargas de montaje (Saavedra: op.cit.).

24. El puente de Richmond, Virginia, proyectado por Robinson, viga continua de 12 tramos de 50 m. cada uno se consideró un fracaso porque, proyectado para doble vía, se deformaba excesivamente al paso de dos trenes en sentido contrario y a la vez (Ut supra: *Las torsiones a las que da lugar esa combinación de sobrecargas deben estar aún vagando por aquellos montes sin encontrar por donde escarpar).*

25. Se han hecho ensayos comparativos a escala 1/8 entre vigas de palastro y vigas tipo Town, resultando que para la misma cantidad de material, la carga admitida por la de alma llena es 1,92 veces superior, aunque el precio unitario de la segunda es 0,67 el de la primera, de lo que resulta una mejor relación para la viga de palastro de 1,28. La rotura de las primeras se producía en la zona más solicitada de los cordones, mientras que las segundas fracasaban por fallo de la celosía en la zona del apoyo. Se harán más ensayos distribuyendo la celosía más adecuadamente, ya que la facilidad de montaje y de transporte están aumentando el uso de éstas (Molinos: op. cit.).

Se ensayaron vigas de luz 11´y canto 1´1´´ con cordones iguales pero variando las celosías entre enrejados y alma llena flectando el doble la de celosía (Saavedra: op. cit.).

26. Prestan servicios militares por la rapidez de montaje. Para su ruina sólo es necesario quitarle algunas articulaciones, lo que evita el riesgo de la pólvora (Molinos: op. cit.).

27. Ortiz Herrera et alt.: op. cit.

28. El primer puente de cables de alambres de hierro se empieza a construir en Filadelfia en 1815, con una luz de 122 m. y 0,60 m. de ancho. Consistía en dos cables de tres alambres de 1 cm. de diámetro cada uno. El de Charley, sobre el Sarine, en Friburgo, es de 1830, tiene 265 m. y consta de cuatro cables de 1.056 alambres de 3 mm. de diámetro. En 1826, Telford termina el de Menai, de 176 m. con 4 filas de cadenas de eslabones («Los puentes de hierro», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1861. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1861, p. 37).

29. Molinos: op. cit.

30. En las uniones se usa una mezcla de sal de amoniaco, azufre, agua y limaduras de hierro que producen una rigidez casi perfecta y evitan las holguras de los pasadores...(al respecto, vid.: «Los puentes de fundición comparados...», op. cit.).

31. *Todavía faltaban algunos años para que Eduardo Saavedra afirmara:* «La perfección a que han llegado las máquinas de cepillar el hierro han permitido hacer apoyar las dovelas en toda la longitud de las juntas» («Los puentes de hierro», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1861. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1861, p. 37).
32. Polonceau, A. R.: *Notice sur le nouveau système de ponts en fonte, suivi dans la construction du pont Carrousel.* Fain et Thunot. París, 1839.
33. Lejos de apuntarse el estar inventando los principios de la madera laminada, indica a pie de página que este procedimiento lo ha visto hacer a M. Emy, coronel y experimentado constructor, que *ha hecho una obra de madera cuyos arcos estaban formados por tablas y por idéntico motivo* (ut supra).
34. Ibidem.
35. Ibidem.
36. Vázquez Orellana, Rodrigo: *El puente de Triana (II)* en *Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1999.
37. En 1842, el Ayuntamiento elige un proyecto de puente colgante de Jules Seguin (Lefler Pino, J.: *El puente de Triana (I)* en *Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1999).
38. Vid. Aguilar Civera, I.: *Patrimonio Arquitectónico industrial.* Cuadernos de Restauración. Instituto Juan de Herrera. E.T.S. de Arquitectura. Madrid, 1999.
39. «En 1786, Tom Pine diseña un puente de fundición sobre el río Schuykill y se va a Inglaterra a patentarlo y a encargar la construcción de sus piezas» (Benévolo, L.: op. cit.).

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Civera, I.: *Patrimonio Arquitectónico industrial.* Cuadernos de Restauración. Instituto Juan de Herrera. E.T.S. de Arquitectura. Madrid, 1999.

Benévolo, L.: *Historia de la Arquitectura Moderna.* Gustavo Gili. 6 ed. ampliada. Barcelona, 1987, capítulo I.

Elskes, E.: Rotura de puentes metálicos, *Revista de Obras Públicas*, núm. 43. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1895, pp. 9 y 116.

Graciani García, A.: La construcción del puente de Isabel II de Sevilla. Los problemas de cimentación. *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Madrid, 1996, pp. 265 y ss.

Kersten C. *Empleo del hierro en la construcción.* Canosa, 1929.

Lefler Pino, J.: *El puente de Triana (I)* en *Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1999.

Lohse, M. H. y Weidtmann, M.: Experiencias relativas a los puentes de celosía, *Revista de Obras Públicas* Tomo 1858. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1858, p. 178.

Molinos, L.: «Consideraciones que pueden servir de guía en la elección de un sistema de puentes», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1855. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1855, pp 54 y 71.

Navascués Palacio, P.: La arquitectura del hierro en España durante el siglo XIX. *CAU*, núm 65, 1980.

Ortiz Herrera, Jesús e Hierro Sureda, Jesús: *El desarrollo histórico de la Construcción metálica. Intervención en estructuras metálicas.* Curso de análisis estructural e intervención en los edificios (dir. por J. M. Ávila Jalvo). C.O.A.M., 2000.

Orús Asso, Asso, Félix: *Materiales de Construcción.* Dossat. Madrid, 1963.

Polonceau, A. R.: *Notice sur le nouveau système de ponts en fonte, suivi dans la construction du pont Carrousel.* Fain et Thunot. París, 1839.

Prusmann: «Comparación entre los puentes de palastro del sistema ordinario y del de Town», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1855. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1855, p. 75.

Saavedra, E.: «Vigas de celosía», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1859. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1859, p. 117.

«Puentes de hierro.- Vigas triangulares. Patente Warren y Kennard», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1859. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1859, p. 82

«Los puentes de hierro», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1861. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1861, p. 37.

Vázquez Orellana, Rodrigo: *El puente de Triana (II)* en *Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1999.

«Los puentes de fundición comparados con los de hierro forjado», *Revista de Obras Públicas* Tomo 1859. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1880, pp. 188, 201, 223, 235.

«Puentes de acero», *Revista de Obras Públicas*, núm. 14. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1896, p. 8.

La contribución de las técnicas diagnósticas al conocimiento de los elementos constructivos de la iglesia agustina de Cascia (Italia)

Stefano D' Avino

En el lugar donde se levanta la iglesia de San Agustín, había una celda monástica con oratorio dedicada a San Juan Bautista. En el año 1059, por concesión del Papa Nicolás II, surgió el cenobio primitivo de la Orden.[1] Lo inusitado de su emplazamiento, en lo alto de un cerro, lejos del centro habitado, es prueba evidente de una tipología aún basada en los cánones eremíticos. (figura 1).

El área ya podía definirse como estable en torno a la primera mitad del siglo XIII, puesto que, en un documento de 1283 relacionado con el Capítulo Provincial que se celebró en Norcia ese mismo año, se hace referencia a su existencia en Cascia.[2]

El edificio, al menos en su forma actual, se remonta a 1380; sin embargo, en las *Relazioni Innocenziane* existen noticias de una construcción anterior a 1344:[3] levantada sobre una planta de sala única, a pesar de que en las paredes laterales se hallan trazas evidentes de un modelo con crucero,[4] del tipo de la iglesia agustina de Perusa, «...tiene una longitud de 47 pies con el coro, a un lado está el campanario y al otro la sacristía...»,[5] y termina en un ábside de planta semicircular.

La fachada, obra de los maestros comasinos, está rematada por un tímpano, y la interrumpe una cornisa marcaplanta esculpida con flores cruciformes, siguiendo el modelo de la iglesia de San Francisco, de la misma época. Se accede a la iglesia por una portada con un amplio derrame caracterizado — en sentido plástico antes que figurativo— por la presencia de tres columnitas salomónicas y helicoidales alternadas con aristas; otras dos columnas salomónicas delimitan la portada por fuera y sostienen la cornisa, moderadamente extradosada (figura 2).

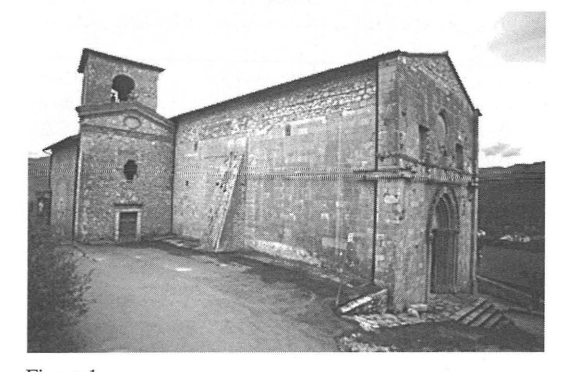


Figura 1
Cascia, S. Agostino, vista general.

En la luneta de la portada, hay un fresco en cuyo centro se representa a la Virgen entronizada con el Niño Jesús, rodeada de los santos de la Orden, San Agustín y San Nicolás de Tolentino. En el siglo XV, la iglesia se decoró con frescos, tanto en la luneta de la portada como en su interior.

Los muros perimetrales están construidos a hueso, con aparejos exteriores en *opus quadratum*, con un neto predominio de los paralelepípedos, manifestación propia de los sistemas constructivos de la época a la que se remonta la fábrica agustina.

En su origen, la iglesia debía tener una techumbre de madera a dos aguas apoyada en cerchas; tras los

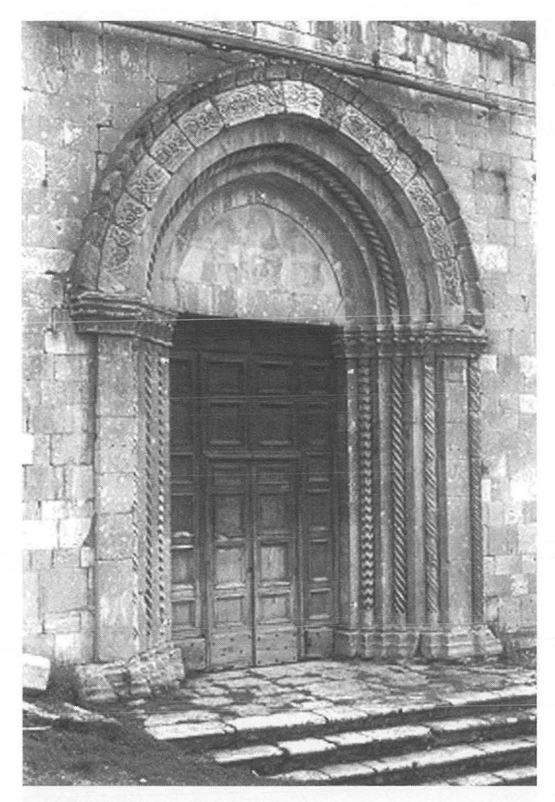


Figura 2
Cascia, S. Agostino, portal del siglo XV

daños ocasionados por el terremoto de 1703, gracias a los considerables fondos que el Papa Clemente XII destinó en 1738 para su reconstrucción, se sustituyeron las cerchas por un sistema de bóvedas de crucería que descansaba sobre unas esbeltas parástades realizadas en piedra caliza labrada.

La identificación del sistema estructural original precisó un atento proceso analítico, rechazando de esta forma toda solución conservadora que impusiera una propuesta acrítica en la fase ejecutiva y, por consiguiente, evitando una dimensionado erróneo de las actuaciones de consolidación e introduciendo inoportunos cambios localizados de resistencia y rigidez. La adopción de este método de trabajo obligó, pues, a compaginar las capacidades críticas con el conocimiento de las leyes de la estática y de los procedimientos de análisis y la evaluación de las tensiones con las que reacciona una estructura ante los esfuerzos externos.

Las características mecánicas del aparejo, en particular la capacidad de responder con su capacidad estabilizadora a los esfuerzos horizontales provocados por la acción sísmica (la causa principal de las lesiones que se observan), al permitir posibles oscilaciones de escasa entidad, pero manteniendo a la vez la necesaria integridad del espesor, dependen de la forma en que está hecha la pared y del estado de conservación intrínseco de la misma. Por consiguiente, el juicio acerca del comportamiento mecánico de una pared coincide con el juicio expresado acerca de la calidad de su realización y de los resultados de los estudios realizados (figura 3).



Figura 3
Cascia, S. Agostino, detalle del muro

Sin embargo, es preciso que la totalidad del sistema, tanto las estructuras verticales como las horizontales, actúe en el sentido de una unidad funcional; es decir, hay que observar la construcción como un complejo orgánico, y no como un conjunto de elementos ensamblados que actúan de forma autónoma. Por consiguiente, se han efectuado los estudios oportunos de la estructura de las paredes, teniendo en cuenta la constricción que les impone a las paredes la bóveda del siglo XVIII de la cubierta, así como los cambios que se han ido introduciendo en el mecanismo resistente a lo largo de la Historia, como por ejemplo la necesaria evaluación de la eficacia de la acción de contención que ejerce el zuncho de hormigón armado que se añadió tras el terremoto de 1979, o el sistema de retención realizado mediante la introducción, en la imposta de los arcos, de los pares de

cadenas de metal, una actuación que también se remonta aproximadamente a 1980 (figura 4).



Figura 4
Cascia, S. Agostino, vista interior

El objetivo de conocimiento que orientó la primera fase de la restauración de la iglesia de Cascia consistió en llevar a cabo un atento levantamiento de las características geométricas de conjunto de la obra arquitectónica y de los múltiples «signos» que podían interpretarse como la manifestación de algún que otro daño estructural.

En el caso en cuestión, la aplicación de la metodología estereofotogramétrica, con la ayuda de sistemas topográficos, permitió no sólo delinear la consistencia espacial de forma pormenorizada, sino también elaborar un panorama de la trama del partido arquitectónico, a la vez que permitía apreciar todas las variaciones de coplanariedad de los tabiques de obra que cabe achacar a fallos estructurales. Por tanto, el levantamiento no se redujo a un *mero acto técnico*, sino que se entendió más bien como la evolución de una decisión críticamente consciente.

A este respecto, cabe observar que la condición principal para que pueda verificarse el valor verídico del levantamiento reside en la capacidad de mantener diacrónicamente el peso del testimonio, seleccionando y actualizando su dato matérico. Aquél puede, pues, considerarse realmente válido cuando revela realidades que no siempre pueden reconducirse directamente a cantidades numéricas.

Resulta evidente que el simple conocimiento de los aspectos morfológico-geométricos fundamentales de un organismo arquitectónico no es en absoluto suficiente a efectos de una operación conservadora. Sólo el establecimiento correcto y riguroso del estado de equilibrio estático del monumento, una condición en continua transformación, permite, en la mayoría de los casos —si es reiteradamente— dar por superados los esquemas y modelos de interpretación ya adoptados.

En la obra agustina de Cascia, se trabajó teniendo como principal objetivo la valoración directa de las transformaciones y estratificaciones que la Historia le ha impuesto al monumento, recomponiendo el orden estratigráfico de las mismas, prestando siempre gran atención para que la inevitable fragmentación de las partes no condujera en cambio a la interpretación errónea de caracteres considerados como válidos, a pesar de estar sacados de áreas no homogéneas. En cambio, el levantamiento exacto de cada *diversidad* hallada en el monumento tradujo la cantidad medida en calidad (al menos en cuanto a *conocimiento material*). «De esta forma, en una perspectiva más atenta a la conservación y al mantenimiento, el levantamiento puede incluso llegar a convertirse en una herramienta de prediagnóstico».[6]

Para examinar en detalle las características estructurales de los aparejos de las paredes, se efectuaron numerosos sondeos mediante la continua extracción de zanahorias de pequeño diámetro, con el fin de identificar los materiales lapídeos y las formas empleadas para su puesta en obra, así como para hacer posible la toma de muestras significativas para someterlas a ensayos de laboratorio. El uso de las zanahorias resulta tanto más significativo en el caso de San Agustín puesto que, como tuvimos ocasión de observar, aquí el aparejo consta de dos paramentos y un

relleno interior. Las características intrínsecas específicas del aparejo indujeron asimismo a utilizar el análisis dilatométrico para determinar las características de deformabilidad de la mampostería, lo que permitió determinar la relación entre los módulos de elasticidad del paramento y del núcleo de la pared, y no ya sus valores absolutos que, por otra parte, ya se habían estudiado mediante el estudio de la alteración del estado de tensión de la mampostería obtenido con el uso de martinetes planos.

Los valores calculados pusieron de manifiesto que las principales tensiones afectan principalmente a las partes más rígidas de la obra, como parástades y contrafuertes, en los que la mampostería cortical está formada por sillares de piedra perfectamente escuadrados y puestos en obra casi por contacto. Por el contrario, los muros continuos, al menos en los puntos estudiados, resultaron estar casi constantemente libres de esfuerzo. Ésto puede achacarse, además de a los distintos grados de rigidez, al hecho de que han sufrido una sensible rotación hacia el exterior, sobrecargando de esta forma los lados opuestos a los afectados por la prueba. (figura 5)

De ello se deduce que es muy probable que los paramentos exteriores, formados por sillares de piedra de un espesor que oscila entre 10 y 20 centímetros, tengan exclusivamente una función de revestimiento, algo que se ve confirmado asimismo por los resultados de estudios experimentales que indican que en varios puntos existen soluciones de continuidad con la fábrica de detrás.

Las pruebas realizadas con dos martinetes planos paralelos para determinar las características de deformación de las muestras de mampostería estudiadas pusieron de manifiesto tensiones distintas según la ubicación de la muestra. De hecho, se registran valores normales en las paredes orientadas al sur (el lado de la sacristía), acaso influenciados por anteriores obras de consolidación, y valores altos o muy altos en el otro lado.

Además, a través de los mismos orificios y en las fracturas ya existentes en las paredes de mampostería, se llevaron a cabo pruebas endoscópicas con el fin de completar el cuadro diagnóstico. Tras realizar *in situ* los ensayos oportunos, se llevaron a cabo unas pruebas de laboratorio destinadas a identificar los parámetros físicos, químicos, mineralógicos y mecánicos de las muestras de material lapídeo recogidas anteriormente mediante microsondeos.

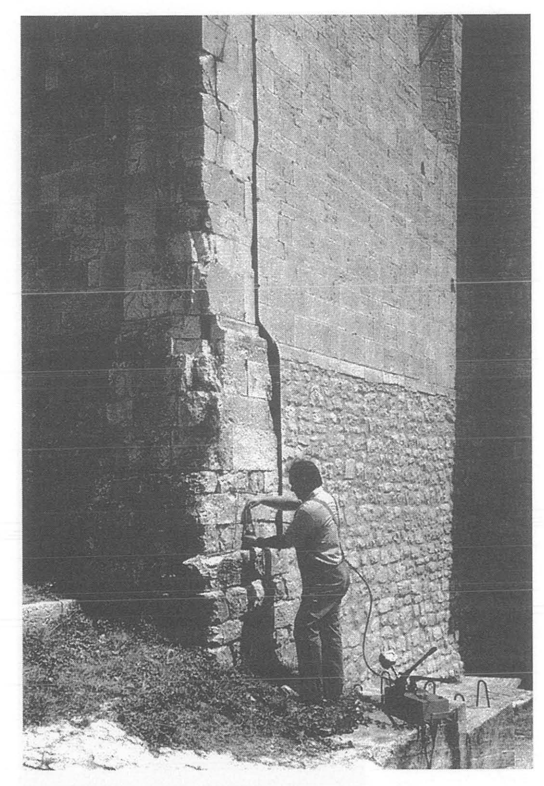


Figura 5
Determinación del estado de cargas

Posteriormente, se llevaron a cabo estudios de caracterización química de los morteros empleados. La cromatografía iónica evidenció una difusa y elevada presencia de nitratos, presumiblemente derivados de las sepulturas existentes en la iglesia y, posteriormente, transportados al interior de los morteros debido a fenómenos de capilaridad. Sin embargo, no puede achacárseles a los nitratos más que en parte la disminución de la cohesión, debida más bien a una puesta en obra poco cuidadosa.

De hecho, la heterogeneidad y variabilidad de los parámetros físicos que pueden observarse, caso por caso, en los monumentos, así como su peculiar carácter único y los valores histórico-formales de cada uno de ellos (que conducen a una sustancial y absoluta imposibilidad de repetir los eventos y objetos de la restauración) impiden fundar la operatividad en unas bases científicas rigurosas que puedan alardear del suficiente grado de corroboración.

Es, pues, fundamental no trasladar a la obra de forma generalizada los resultados de la investigación científico-analítica, puesto que de la exaltación positivista de la *cultura de los materiales* puede hacerse derivar erróneamente lo inesencial de la aportación de la Historia y la presunción de una plena autonomía de la operación técnico-conservadora, hasta su identificación con la misma restauración. De esta forma, al privilegiar el dato técnico y matérico se agravaría la dicotomía historia-técnica.

En cambio, un recorrido por la historia material del monumento, a través de un riguroso estudio de los archivos, proporciona una ayuda inapreciable para comprender los procesos de alteración, así como indicaciones de utilidad para la puesta a punto de los materiales y el método para la restauración.

Los lazos dialécticos existentes entre los documentos y los mecanismos de degradación y entre la *observación* y los resultados de las pruebas de laboratorio, exaltan el proceso de corroboración de los datos, confiriéndoles sustancia a las decisiones operativas.

Las obras de consolidación llevadas a cabo en la iglesia de San Agustín de Cascia para subsanar los daños causados a los aparejos de mampostería por los esfuerzos derivados de los recientes fenómenos sísmicos se ejecutaron con arreglo a los criterios impuestos por el ejercicio de la interpretación de los valores precipuos del monumento a través del juicio crítico.

Sin embargo, éste se guió también inevitablemente por los resultados de los análisis del monumento realizados previamente, puesto que la primera fase de la actividad de conservación «sólo puede ser la fase diagnóstica, de reconocimiento de los valores (entendidos como «objeto» y al mismo tiempo «razón» de la actuación)».[7] Por lo tanto, cuanto más exacto sea el conocimiento de la *materia* del monumento, tanto mayores serán las probabilidades de hacer un buen trabajo de conservación.

NOTAS

La traducción de las notas incluidas en el texto es del autor.

1. Se encuentran notas fragmentarias en torno a la fundación de la iglesia agustina de Cascia en Fabbi, A.: *Storia e arte nel comune di Cascia*. Spoleto, 1975, pp. 262-267.
2. El documento original se conserva en el Archivo Municipal de Cascia, pero se publicó en *Analecta Agustina*, tomo XII (1927-28), nº IV-VI, 1927.
3. Cfr. Archivo General Agustino de Roma, *Relazioni sullo stato dei conventi al momento della prima soppressxione innocenziana* (1654).
4. En el Archivo General Agustino de Roma (*Notitiae Provinciae Umbrae*, Col. A 13), se conserva un plano de la iglesia de Cascia. Del dibujo, en el que resulta más fácil vislumbrar los trazos de un croquis que los de un levantamiento, parece desprenderse la voluntad de levantar el templo según una planta en cruz latina, y no de la forma en que se hizo luego, acaso debido a la necesidad, propia de la Orden, de disponer de un espacio lo más unitario posible para dedicarlo a la predicación.
5. Archivo General Agustino de Roma, *Relazioni* ..., op. cit.
6. Cfr. D'Avino, S.: «Il rilievo informatizzato come modello interpretativo per il restauro», *Contributi*, núm. 4, Roma, 1997, pp. 25-30.
7. Carbonara, G.: «Intervento alla Giornata internazionale di studi su *Autenticità e patrimonio monumentale»* (Napoli, 29/11/1994), *Restauro*, a. XXIII, núm. 130, oct.-dec. 1994, p. 33.

La visión de una arquitectura en crisis: Córdoba en la segunda mitad del siglo XVIII. La pulsión entre la economía real y las necesidades constructivas

María Teresa Barbado Pedrera

La decadencia económica, social y cultural de Córdoba en la segunda mitad del siglo XVIII supuso para las manifestaciones artísticas en general y para la arquitectura en particular un evidente desinterés por su monumentalización, manifiesto en el estado material de sus edificios públicos y privados, así como en la tendencia hacia el ahorro en todas las construcciones y refacciones realizadas durante este período, tanto por la Iglesia y el Ayuntamiento, los dos poderes locales, como por las controladas desde la Real Acada de San Fernando.

Esta realidad se puede evidenciar en los documentos atesorados en el Cabildo Eclesiástico y en el Archivo Municipal de Córdoba, principalmente, a través de sus actas respectivas, y las cuentas de obrería eclesiales. Este trabajo pretende analizar y actualizar estas fuentes escritas con el objeto de determinar el coste, los tipos, las técnicas de los materiales de construcción y los gastos de su transporte, recuperando parte decisiva del desarrollo de la arquitectura en la ciudad de Córdoba.

Fuentes documentales

El vaciado y análisis exhaustivo de los archivos locales cordobeses como origen indispensable para el estudio de la arquitectura de la segunda mitad del siglo XVIII en la ciudad de Córdoba[1] nos deparó el hallazgo de detalladas referencias al uso, coste y transporte de materiales en las Cuentas de Obrería del Cabildo Eclesiástico, hoy en el Archivo del Cabildo Eclesiástico de la Santa Iglesia Catedral de Córdoba,[2] y en las Actas Capitulares del Archivo Municipal, referentes de los grandes poderes económicos. También hemos valorado como datos de interés otros aparecidos en los pliegos de las Actas Capitulares Catedralicias, en los del Archivo Histórico Provincial, y en el Archivo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Las Cuentas de Obrería, que a lo largo del siglo XVIII fueron generalmente controladas directamente por los canónigos, decir que a pesar de ser la fuente de mayor interés práctico, su estado de conservación no permite una valoración global del período que nos ocupa. Hasta ahora, y llevamos trabajando en su biblioteca más de un año, no han aparecido todos los volúmenes. La década menos afectada pertenece a la de los años cincuenta, mientras los restantes se presentan en dispersiones bianuales. Por esta razón y para obtener una idea más clarificadora nos detendremos fundamentalmente en el espacio cronológico extendido entre 1750 y 1761.

Los gastos de obras del Cabildo Catedralicio

El férreo control que los canónigos establecían sobre sus ingresos y salidas económicas auspició la creación de la Obrería, regida por un canónigo nombrado con el cargo de obrero, o por el propio Cabildo si no nombraba uno. El alcance económico de los costes

efectuados en las diferentes obras patrocinadas por esta institución eclesiástica era expresado por el obrero según la relación dada por el veedor de las obras, o por el canónigo correspondiente, semanalmente, lo que permite que los datos sean muy fiables.

Aunque son estimadas las apreciaciones económicas cuando se plantea realizar una obra, revisándose hasta la saciedad el estado de cuentas de las mismas, existe una menor preocupación por el precio general que en las cuentas del Ayuntamiento. Las grandes empresas, como la rehabilitación del Palacio Episcopal o la de la Torre de la Mezquita-Catedral, nacen gracias al mecenazgo de obispos y canónigos, o por el propio Cabildo, gran patrono de la arquitectura y cultura cordobesa. Esta realidad supuso que se eligieran aquellos proyectos más adecuados para el embellecimiento y resistencia arquitectónica y posibilitó la confianza, eso sí recelosa cuando menos, de contratar arquitectos titulados, e incluso extranjeros.

Sensiblemente diferente es la posición de la misma institución cuando afronta presupuestos solicitados por órdenes religiosas o capellanes de segundo orden, instigados a la mendicidad oficial o a ayudas ínfimas.

Precio y características de los materiales

La piedra, el más apreciado y recomendado por los tratadistas de la arquitectura, es considerada en las relaciones ofrecidas en las cuentas según dos calidades, la franca, la más apreciada y la negra. La primera de ellas es la empleada comúnmente para los sillares, como es el caso de la Torre de la Mezquita-Catedral, mientras que la negra aparece en la cenefa de la «baya del Choro» de la Catedral, en las quicialeras de las puertas, en los canales del Patio de los Naranjos, etc...,.

De la indagación en las Cuentas de Obrería sólo hemos encontrado dos canteras de las que se extraía la franca, cuales son la Cantera del Cambullón o la del Algarrobo, ambas propiedad del Cabildo.[3] De la piedra negra desconocemos su origen, aunque al igual que la anterior podía haber sido donación o compra a la Hacienda Municipal, de los derribos de murallas y edificios. En cuanto al precio de cada una de ellas afirmar que una vara de piedra negra se elevaba doce reales[4] mientras que el precio de la franca se limitaba a los jornales de los canteros y al transporte, debido a la propiedad de las canteras.

Los ladrillos cada vez más utilizados en las refacciones de pequeña índole para el abaratamiento de gastos eran sumamente asequibles pues el precio mil ladrillos ascendía a ocho reales en 1750,[5] manteniéndose hasta la década de los 70, período a partir del cual se pierden los libros.

Establecer la procedencia, calidad y precio de la madera utilizada para la arquitectura es tarea harto más complicada debido a la generalidad con la que se trata por el obrero. Las anotaciones al respecto son imprecisas como denota el siguiente ejemplo de data de maravedíes: «De una Quenta dada por el Sr. Franco Estebez de Diferentes porziones de Madera de la sierra que ha traydo (sic) de Yglesia para la obra de la torre, cuya Quenta abiéndola registrado se halla esta (sic) bien justificada y arreglada a los prezios (sic) de mas hequidad (sic); que monta.... 945 rs.»[6] .

Del hierro, el material de la arquitectura del siglo XIX, decir que era traído desde Vizcaya y que se utilizaba fundamentalmente para el reforzamiento de los sillares, caso de la Torre de la Catedral. Su precio equivalía a veinte reales cada planchuela.[7]

El coste del yeso se elevaba a cinco reales la fanega en 1760, lo que contrastado con los ocho reales a los que asciende en 1788 según las Actas Capitulares del Cabildo Municipal,[8] observamos un considerable ascenso para la movilidad económica.

Por último de la arena constatamos que veintidós portes, incluyendo los gastos de este último, ascendían a once reales.

El pago del transporte

La carretada ascendía a doce reales se transportara un material u otro, mientras que los portes dependían del material elegido, a mayor solidez mejor pago. Curioso nos parece la profesionalización de un grupo demográfico, el de los franceses, como transportistas de bancas y arcas para las fiestas sagradas.

El pago a los encargados de las construcciones

Si comenzamos desde el escalafón más bajo el salario de un aprendiz de albañilería ascendía entre dos reales y medio, y tres al día, mientras que el de un oficial en 1761 era de cinco reales. Los canteros, me-

jor pagados, estimaban su cuota de trabajo a cuatro reales por vara lineal de piedra.

El oficio de Maestro Mayor del Cabildo debió ser un cargo muy apetecido entre los maestros de albañilería pues en 1752 se pagaba con veinticuatro fanegas de trigo,[9] fijas, a la que se le añadían en 1771 seis reales diarios.[10] Además si moría desempeñando su cargo y dejando viuda a ésta el Cabildo solía concederle ayudas económicas.

Los arquitectos recibían sueldos que dependían de la categoría de sus proyectos, como ocurrió con D. Baltasar Devretón, de origen marsellés, y que cobró 300 reales por la autoría del retablo de la Capilla de Santa Inés.

El más favorecido de todos era el veedor de obras, por su adscripción a la canonjía. Sus múltiples y complicadas preocupaciones eran soslayadas con cien fanegas de trigo y quinientos reales anuales.

Los gastos de obras del Ayuntamiento

La hacienda municipal cordobesa presentó un grave endeudamiento superior al millón de reales de principal a partir de 1750 como se indicaba en el Catastro de Ensenada, aumentada con la crisis de granos sufrida entre 1734 á 1737.[11] Esta deuda limitó las posibilidades de realización de las obras públicas que respondieron en mayor medida a las necesidades más urgentes, como reparación de cañerías, fuentes, etc...,. [12] Lógicamente la perentoriedad económica del municipio también afectó a la contratación de arquitectos, al rechazo de proyectos y al uso de materiales, lo que conllevó a derribar el sueño de hacer navegable el Guadalquivir y construir el Murallón de la Ribera.

La contratación de arquitectos

A pesar de las numerosas presiones procedentes de la Real Academia de San Fernando, recibidas a través de cartas oficiales, el Municipio no contrató ningún arquitecto titulado, pues sus percepciones económicas eran mayores a las de los maestros de obras tradicionales.[13] Este hecho, descontextualizado, podría dar lugar a un discurso sobre la lejanía, por otra parte cierta, de la normativa oficial con sello real del Ayuntamiento, y de la falta de escrúpulos artísticos al preferir al maestro de obra tradicional frente al arquitecto. Empero en las actas municipales la clave se halla de nuevo en el pragmatismo económico que suponía el pagar menos por un mismo empleo.

De forma ejemplar, se puede comprobar esta tesis en los recursos planteados por la ciudad a la Academia tras la elección como representante último de la arquitectura cordobesa en 1787 a D. Vicente López Cardera, maestro titulado, de entre los que extraemos el siguiente texto: »Leí otra representación (sic) fecha en Córdoba (sic) á 29 de Noviembre anterior por su Ayuntamiento exponiendo la falta de medios y arbitrios para dotar competentemente la plaza de su Maestro mayor de obras, de suerte que la sirva un Académico de cuenta, según la Academia insinuó antes; por cuyas razones proponía de nuevo al maestro de Obras Dn. Vizente Lopez (sic) Cardera. La Comision, á (sic) de otro recurso, comino (sic) en ello; ...»[14]

Rechazo e incumplimiento de proyectos

La economía es de nuevo la protagonista en la realización de construcciones arquitectónicas. Ni la empresa más importante iniciada en estos cincuenta años, la de construir un murallón[15] que impida que las avenidas frecuentes del río Guadalquivir inunden y arrasen los edificios próximos a la Ribera, por ende muy significativos en el paisaje urbanístico de la judería y de la Cruz del Rastro, símbolos de la trama heredada de época medieval, se salva de esta tónica.

En los concursos previos a la realización de toda obra se valoraban los diferentes proyectos presentados y en todos los casos analizados se tendía a la aprobación del de menor coste. El caso más flagrante es como el arquitecto rechazo de un proyecto más seguro es el expuesto en 1791 por D. Ignacio Tomás,[16] arquitecto académico, tuvo que presentar el plano para levantar la tan querida muralla contigua al río, junto D. Vicente López Cardera,[17] en 1791, para que se le aprobara, tras numerosos desplantes de los caballeros veinticuatro.

Este proyecto aprobado en 1792 e iniciado en 1794 tras estar su expediente paralizado por ser insuficientes los réditos proporcionados por los Arbitrios se paralizará, extendiéndose su historia de sucesivos proyectos hasta 1855.[18]

Economía material

A través del Archivo hemos podido comprobar como en la mayoría de las construcciones se economiza tanto en la compra de materiales que se llega a poner en peligro la buena marcha de las mismas, volviendo a tener que rehacerlas en muchas ocasiones.[19]

Esta tendencia ahorradora se satisfacía además desde la reutilización de todos aquellos sillares y material de escombro producidos por la ruina total de edificios o por el desmantelamiento de los mismos. Este material originario de la destrucción era además motivo de solicitud por la iniciativa privada para la recuperación de sus casas, por la nobleza para sus palacetes y por la Iglesia para nuevos proyectos y refacciones.

En directa relación con esta política también se favorecía el derribo de algunas construcciones que amenazasen ruina para aprovechar esos materiales para la nueva fábrica. Así para la organización y ornamentación del Paseo de la Victoria, sufragado en gran medida por el corregidor, tenemos constancia de la demolición de una torre.[20]

El precio de los materiales

Los costes de los materiales estaban fijados por el Ayuntamiento y apenas experimentaron subidas de interés durante el período, probablemente por ser la propia entidad municipal la menos interesada en el encarecimiento de las obras. De esta manera el gremio de caleros y tejeros pide que se aumente el precio de la cal y el ladrillo en 1759, en 1761 y en 1763, alegando no poder costearlos a los precios del arancel «por la falta de quema y crecidos precios de los jornales»[21]. Por tanto la ganancia de ambos artesanos era cada vez menor pues tenían que afrontar más gastos y recibían las mismas compensaciones.

Entre las obras municipales no tenemos constancia del empleo de mármol, salvo una excepción[22] convirtiéndose la piedra en el bien más costoso, aunque procediese de algún derribo. La más apreciada era la llamada piedra franca originaria del Arro y del Pedroche, ambos arroyos como se estima en el siguiente informe dado por el maestro de obras D. Francisco García Terrín en 1769: «... hallamos que haziendo un recalzo en todas dichas Paredes en sus vars de Alto y todo su largo si es de Piedra del Arro y o de Pedroche hasziende (sic) su costo por lo que haze (sic) al cuerpo vajo (sic) a diez y nueve mil setecientos sesenta y ocho reales= y siendo la Piedra franca á once mil doscientos noventa y seis reales[23]= y por lo haze al cuerpo alto de piedra franca hasziende (sic) su costo â (sic) quinze (sic) mil Doszientos (sic) veinte y ocho reales de vellón...».[24]

Sabemos también que la piedra blanca, más ligera y sin embargo duradera, era más barata que la de color negro que por ejemplo podía ser usada en las portadas como se deduce en el siguiente cuadro relativo al informe dado por los gastos producidos en la erección del Cuartel de La Romana.[25]

Cimientos	979930 reales
Cimientos de las Cuatro Paredes exteriores	8303630 reales
Paredes del edificio	2709876 reales
Bóveda	1109334 reales
Solerías y Empedrados	639018 reales
Cocinas, Divisiones, Escaleras, Tabique Puerta de la Calle, Ventanas, Cuatro Portadas de **Piedra negra**, zócalo de lo mismo de una Bara de alto, y Rejas de Yerro	2109130 reales
Cornisa de Piedra blanca	189000 reales

Poco más sabemos a través de las Actas del precio al que ascendían materiales como el ladrillo, o el adobe. De la cal sabemos que en 1788 el precio de un *caice* (una espuerta) se elevaba a diez reales y del yeso que una fanega correspondía a ocho reales en el mismo año.[26]

El transporte

Sorprendentemente el gasto producido en el abastecimiento de los elementos instrumentales para la arquitectura no aparece deducido en los informes. Por el contrario la escasa profesionalidad de los transportistas si es recogida a lo largo de todos los años como una constante. Dicho defecto les causó a este gremio multas e improperios pues en sus traslados solían dejar las calles sucias, y lo que es mucho más grave, cuando regresaban con un porte de escombros los dejaban cerca de las puertas de la ciudad, formando las tan desagradables *granzas* (escombreras) que nombran todos los escribanos.

Los jornales de los artesanos

Del informe dado en 1788 del coste del Paseo de la Victoria deducimos que un oficial de albañilería cobraba 6 reales diarios, cantidad semejante a las Cuentas de Obrería del Cabildo Catedralicio para la década de los cincuenta lo que nos da idea de la inflación que debieron sufrir sus economías. El peón según la misma relación ganaba cuatro reales y medio mientras que el cantero ganaba diez reales cada día.[27]

El sueldo del maestro de obras si experimentó algunas subidas siendo la más importante la debida a la petición de D. Vicente López Cardera en 1792 consistente en el aumento de 80 ducados a su sueldo de cuatrocientos cuarenta reales.[28]

CONCLUSIONES

Observamos que mientras el Cabildo Eclesiástico es más generoso cuando decide emprender una arquitectura, los precios que remunera por materiales, transporte, mano de obra son los mismos que los realizados por el Municipal que es el que impone los aranceles de los mismos. Mención diferente es la del salario del maestro mayor, más beneficiado por goce de tierras y por número de construcciones emprendidas, en el caso del eclesiástico.

En líneas generales se comprueba como la tradición gremial se mantiene casi intacta a lo largo del siglo XVIII, si exceptuamos la elección de maestros de obras de 1787, por lo que lógicamente también se mantuvo la manera de construir tradicional.

Sin ánimo de despedidas tristes para el balance de la arquitectura de la segunda mitad del siglo XVIII en Córdoba, ratificamos en los documentos el estado ruinoso en que se hallaban muchas casas y edificios principales de la ciudad, afectados por un mal que aún hoy día nos afecta, el remendar rápido, con materiales baratos y mano de obra elemental.

NOTAS

1. La aproximación a esta línea de investigación, por otra parte muy olvidada en la historiografía cordobesa, comenzó su andadura ahora ya dos años bajo el magisterio y dirección del Catedrático de Historia del Arte de la Universidad de Córdoba, D. Alberto Villar Movellán, siendo hoy el tema esencial de la que pretendemos sea nuestra tesis doctoral.
2. Permítanme agradecer desde estas páginas a su Canónigo Archivero, D. Manuel Nieto Cumplido, la amabilidad y ayuda prestadas, así como a sus auxiliares.
3. *Quentas quartas de la Fabrica de la Santa Iglesia Cathedral de Cordova de tiempo de seis años desde S. Juan de 1765 hasta otro tal dia del de 1771.Tomadas á don Francisco García de los Reyes su Receptor*. Cuentas de Obrería, 1771, s.f., Data de Maravedíes n. 73. Archivo del Cabildo Catedralicio.
4. Este precio corresponde a la década de los sesenta.
5. *Cuentas de las rentas de la fabrica de la Santa Yglesia Cathedral de Cordova de los años de 1751 y 1752.* Cuentas de Obrería, 1750, s.f., Copia de los gastos que la favrica (sic) de la Catedral ha tenido esta semana desde el Domingo 27 de Junio de 1750 a 3 de Julio de 1750.
6. *Quentas quartas...*, o.c., s.f. Data de Maravedíes nº 73.
7. Ídem, semana del 9-XI al 15-11-1760.
8. Vid, p. 10, nota 23.
9. *Cuentas de las rentas...*, o,c,, s.f., 12-XII, 1752.
10. Actas Capitulares del Cabildo Catedralicio, t. 89, día 3-VII-1771, s.f. Archivo del Cabildo Catedralicio.
11. López Ontiveros, A.: Córdoba 1752. Según las respuestas Generales del Catastro de Ensenada. Madrid, Tabapress, 1990, p. 47.
12. Cuesta Martínez, M.: *La ciudad de Córdoba en el siglo XVIII*. Córdoba, Obra Cultural de la Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, 1985, p. 193.
13. Esta es una de las aportaciones científicas incluidas en nuestra Memoria de Licenciatura.
14. Junta de Comisión de 13 de diciembre de 1787, Sección Arquitectura. *Juntas de Comisión. Tomo I., p. 131. Desde 1787 hasta 1805*. Real Academia de Bellas Artes de San Fernado.
15. Las primeras propuestas de intervención están constatadas en de 1762.
16. Informe del arquitecto D. Ignacio Tomás fechado en Córdoba 20 de Octubre de 1791, en AM.CO., Secc. 4. Murallón de la Ribera. Leg. 3. Caja 3. Exp. nº 17, ya citado, págs. 36-37 (Aparece recogido en Martín López, C.: *Córdoba en el siglo XIX. Modernización de una trama histórica*. Córdoba, Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba, 1990, pp. 139-140, nota 170).
17. Actas Capitulares, Sesiones del 11 y 23 de enero, y 25 de junio de 1792.. AM.CO. Ejemplares microfilmados, rollo 170, libro 301, s.f.
18. García Verdugo, F.R.: *Córdoba, burguesía y urbanismo*. Córdoba, Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba, 1992, pp. 61-62.
19. La Real Academia de San Fernando al recibir el proyecto del murallón de 1792 realiza una serie de advertencias técnicas referentes a este peligro: «... el perfil del nuevo murallon (sic) siguiese simplemente en forma del

talud hasta el cimiento, y que esta ultima (sic) parte de la obra se construiese (sic) de buena mamposteria (sic) en vez de la fabrica de hormigon (sic) propuesta en las condiciones» (Junta de Comisión, 5-5-1792. Sección Arquitectura. *Juntas de Comisión. Tomo I. Desde 1786 hasta 1805*; p. 191, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.)

20. Escudero Sánchez, Mª.C.: *Organización Municipal y Política Urbanística en la Córdoba del siglo XVIII*. Córdoba, Memoria de Licenciatura, 1986, s.ed. Tomo II, p. 171.
21. Actas Capitulares, día 3-IV-1761, s.f., AM.CO. Ejemplar microfilmado, rollo 153, libro 270.
22. La decoración del Paseo de la Victoria incluyó la ornamentación de dos columnas de mármol originarias de una edificación más antigua de la que no se precisa el nombre. Acta Capitular, 19-VIII-1775, s.f. AM.CO. Ejemplar microfilmado, rollo 160, libro 285.
23. Las estimaciones sobre el precio de la piedra siempre se establecen de forma general en el presupuesto de la obra en las Actas.
24. Refiérese a una actuación en la Cárcel. Actas Capitulares, día 17-VII, 1769, s.f, AM.CO. Ejemplar microfilmado, rollo 156, libro 278.
25. Acta Capitular, 14-VIII-1784, s.f., AM.CO. Ejemplar microfilmado, rollo 164, año 1784.
26. Refiriéndose a nuevas intervenciones en el Paseo de la Victoria, Actas Capitulares, 14-V-1788, s.f., AM.CO. Ejemplar microfilmado, rollo 167, libro 297.
27. Ídem.
28. Actas Capitulares, Sesiones del 25-V-1792 y 4-VI-1792, s.f., AM.CO. Ejemplar microfilmado, rollo 170, libro 301.

BIBLIOGRAFÍA

Aranda Doncel, J.: *Historia de Córdoba. La época moderna (1517-1808)*. Córdoba, Obra Cultural de la Caja Provincial de Córdoba, 1984.

Cuesta Martínez, M.: *La ciudad de Córdoba en el siglo XVIII*. Córdoba, Obra Cultural de la Caja Provincial de Córdoba, 1985.

Escudero Sánchez, M.ª C.: *Organización Municipal y Política Urbanística en la Córdoba del siglo XVIII*. Córdoba, Memoria de Licenciatura, 1986, s. Ed.

García Verdugo, F.R.: *Córdoba, burguesía y urbanismo*. Córdoba, Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba, 1992.

León Tello, F.J.; Sanz Sanz, M.ª V.: *Estética y teoría de la arquitectura en los tratados españoles del siglo XVIII*. Madrid, C.S.I.C., 1994.

López Ontiveros, A.: *Córdoba 1752. Según las respuestas Generales del Catastro de Ensenada*. Madrid, Tabapress, 1752.

Martín López, C.: *Córdoba en el siglo XIX. Modernización de una trama histórica*. Córdoba, Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba, 1990.

Nieto Cumplido, M.: «Córdoba en la segunda mitad del s. XVIII», en *Historia del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, 1864-1978*. Córdoba, Obra Cultural de la Caja Provincial de Córdoba, 1979, pp. 51-159.

Vázquez Lesmes, R.: *Córdoba y su Cabildo Catedralicio*. Córdoba, Cajasur, 1987.

Villar Movellán, A. (dir.): *Guía artística de la provincia de Córdoba*. Córdoba, Asland, 1995.

Estudio de la cimentación del Hospital de Las Cinco Llagas de Sevilla

Jesús Barrios Sevilla
Ángela Barrios Padura
Jorge Polo Velasco
Reyes Rodríguez García
Carlos Rivera Gómez

En los años 1997-98, se realizaron los estudios previos al proyecto de Restauración (Segunda Fase) del edificio que alberga la actual sede del Parlamento de Andalucía, el Hospital de Las Cinco Llagas. Esta Segunda Fase de Rehabilitación del edificio comprende los Patios del Cardenal, de la Fuente y de las Flores (figura 1).

Dichos estudios previos tenían un programa de estudio y análisis exhaustivo de todos los elementos estructurales del edificio, aunque en esta comunicación nos centraremos en el análisis de la cimentación.

El Hospital de Las Cinco Llagas

El Hospital de Las Cinco Llagas, uno de los edificios civiles más importantes de la arquitectura andaluza del siglo XVI, fue construido tras la bula expedida el 26 de octubre de 1524 por el Papa Clemente VII al Marqués de Tarifa, don Fadrique Enríquez de Ribera, para la ampliación del hospital que su madre, doña Catalina de Ribera, había fundado en 1500 en una casa de su propiedad en la calle Santiago, en el centro de la ciudad de Sevilla.

El proyecto inicial del edificio, de Francisco Rodríguez Cumplido, tuvo como modelos los hospitales de Toledo, Santiago de Compostela, Lisboa y el Hospédale Maggiore de Milán.

El edificio se ubicó extramuros, en un solar rectangular, cercano a la muralla de la ciudad, entre huertas regadas por el río Tagarete, lugar fácilmente accesi-

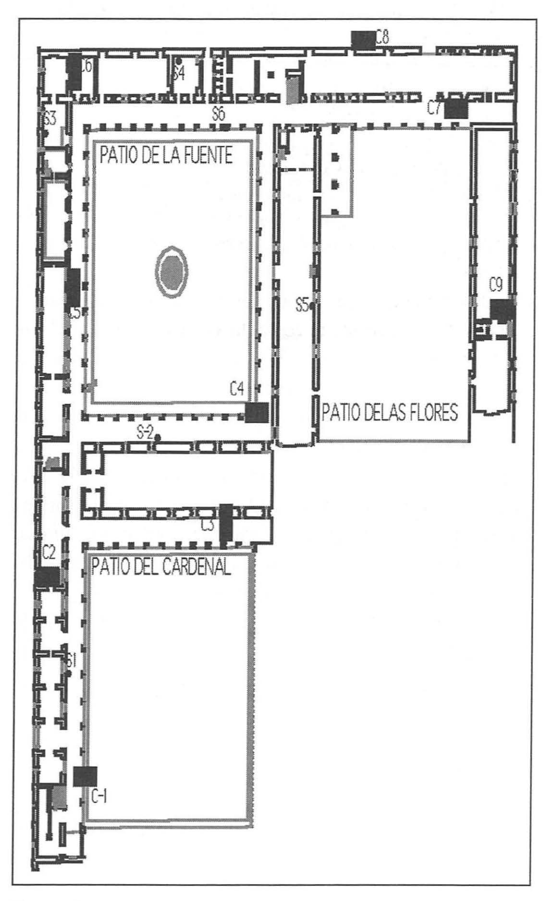


Figura 1

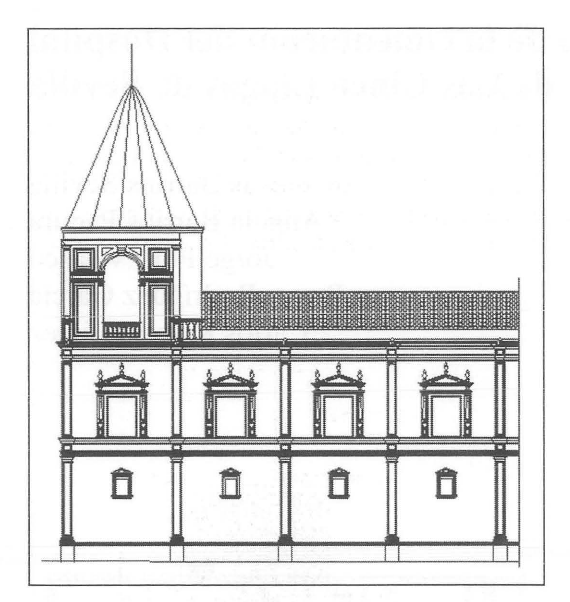


Figura 2

ble e higiénico y cercano a los conventos de La Cartuja, San Jerónimo de Buenavista y San Isidoro del Campo, las tres órdenes de monjes que fueron los gestores y administradores de las obras.

Éstas comenzaron en el año 1546, siendo Martín de Gainza el primer arquitecto director de las obras hasta su muerte en 1556, y discurrieron hasta los años finales del siglo, sucediéndose en las labores de dirección diversos arquitectos, entre los que destacaron Hernán Ruiz, Tortello y Asensio de Maeda.

Es un edificio de geometría rectangular, de dos plantas, con crujía perimetral que conforma la fachada, de manera que en el interior se configuran nueve patios por la intersección de naves dispuestas perpendicularmente a las fachadas principales de éste.

En uno de los patios se dispone la iglesia, obra de Hernán Ruiz, que constituye uno de los edificios más maravillosos del Renacimiento Andaluz.

ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN

En el análisis de las cimentaciones, es necesario, en una primera fase, conocer el terreno, pues es un dato que condiciona en gran medida la tipología, el dimensionado y la profundidad de la cota de apoyo del cimiento del mismo. De este hecho tenemos constancia en diversos tratados sobre Arquitectura y Construcción, como es el caso de *Los Diez Libros de Arquitectura* de Vitruvio (s. I a.C.) («Si es posible encontrar un terreno sólido, la cimentación de los edificios se excavará sobre tierra firme...» o en *De Re Aedificatoria* (1485)(«Será pues menester hacer cimientos, que es ir hacia lo hondo y cavar donde se ha de buscar el suelo firme...) o en *Los Cuatro Libros de Arquitectura* de Palladio (1570) («se debe mirar si el terreno sobre el que se ha de construir es sólido y firme...».

El terreno sobre el que se cimenta el Hospital de Las Cinco Llagas presenta el típico perfil de la llanura aluvial conformada por el río Guadalquivir. Sobre el estrato de las *margas azules*, localizado a una profundidad de 16 metros, se suceden los siguientes (figura 3):

— Nivel de gravas arenosas con lentejones arcillosos, situado a una cota entre 4 y 6 metros, y hasta los 16 m. de profundidad, correspondiente a la laguna de la llanura aluvial romana.
— Nivel superficial desde la cota + 0.00 hasta los 6 metros, de arenas arcillosas y arcillas arenosas, rellenos pertenecientes a formaciones antrópicas ocupacional, que se encuentran mezclados con gravas y restos cerámicos y que corresponden a los períodos romano altoimperial y medieval.

Es el estrato donde se cimenta el edificio.

Una vez descrito el terreno sobre el cual apoya la cimentación del edificio, pasamos a describir la ci-

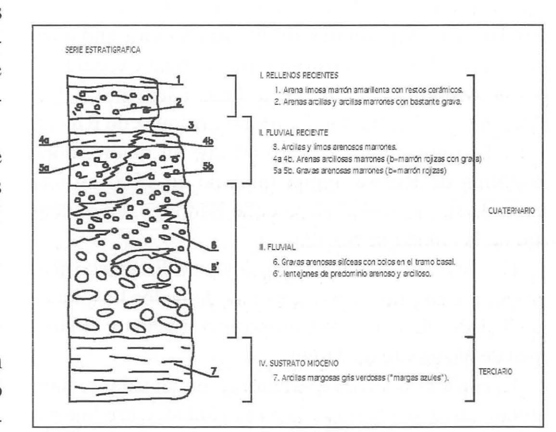


Figura 3

mentación, analizada mediante la apertura de calicatas y la ejecución de sondeos verticales e inclinados.

La tipología de la cimentación es bastante homogénea en todo el conjunto, de manera que los muros de carga, que son de ladrillo macizo y tapial con verdugadas de ladrillo macizo, se introducen en el terreno a cotas que varían entre 20 y 130 cm. bajo la solería (figura 4).

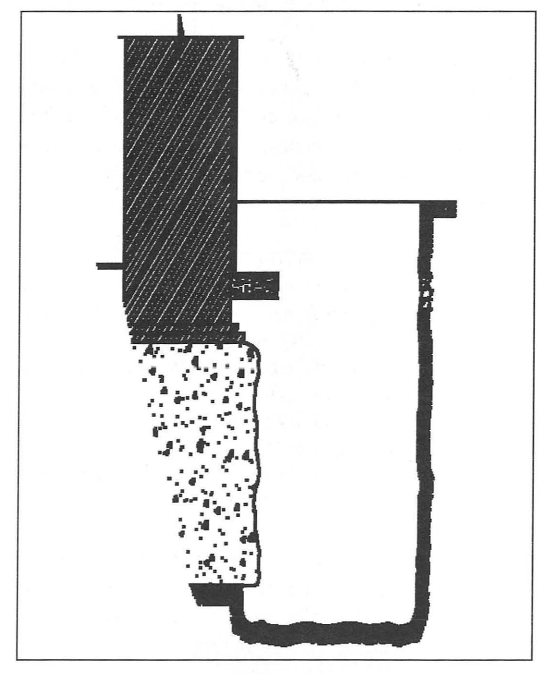


Figura 4

Dichos muros, se recrecen en la base del apoyo, formando una zapata corrida de ladrillos macizos tomados con mortero de cal, de canto variable entre 0.11 y 0.30 m. y con sobreancho respecto al muro de entre 0.08 y 0.025 m. que apoya a su vez sobre una zapata corrida de argamasa de cal, arena, piedra y restos cerámicos, con un canto variable entre 1.30 y 2.40 m. de sobreancho respecto del muro de entre 0.23 y 0.75 m.

La cota de apoyo de la cimentación de los muros varía, en general entre 1.73 y 3.11 m.

Los pilares que sustentan los forjados de las galerías que se abren a los distintos patios se cimentan de manera similar, aunque la cota de apoyo del terreno es menor.

Una particularidad que se ha observado es el hecho de que existe arriostramiento a nivel de cimentación de dichos pilares mediante zapatas corridas (figura 5), algo así como lo que planteaba Vitruvio cuando describía la cimentación de los templos: «se eregirán paredes sobre la tierra, debajo de las columnas...».

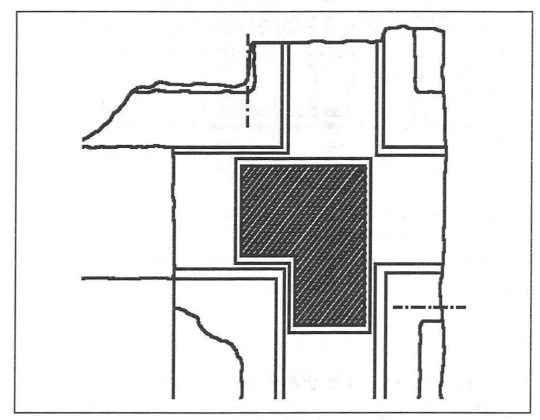


Figura 5

De manera general, los pilares apoyan sobre zapatas corridas de ladrillo macizo de canto variable entre 0.21 y 0.79 m. y sobreancho entre 0.01 y 0.14 m. que a su vez apoyan sobre zapatas corridas de argamasa de cal, arenas, piedras y restos cerámicos de canto variable entre 0.73 y 1.32 m. y sobreancho respecto de los pilares de entre 0.18 y 0.45 m.

La cota de apoyo de la cimentación de los pilares es más superficial que en el caso de los muros, alcanzando cotas que varían entre los 1.30 y 1.66 m.

Materiales

Los diversos materiales empleados en la cimentación son fundamentalmente los siguientes:

— Argamasa, hormigón calizo, o el llamado por los constructores romanos *opus caementicium*, es decir, la mezcla de al, arena, piedra y restos cerámicos, utilizada para la construcción de zapatas corridas bajo el muro, encargada de transmistir las

cargas al terreno, y encofrada directamente en el terreno o, como hemos descubierto en el patio de La Lonja, enncofrada mediante un muro de ladrillo macizo de un pie de espesor (figura 8).

Este material les permitiría rellenar las zanjas de cimentación con relativa celeridad y resultaba un material que, mezclado con piedras, arena y restos cerámicos, adquiría una elevada resistencia mecánica.

La dosificación empleada en la composición de la argamasa es bastante homogénea en todas las cimentaciones analizadas, detectándose una parte de cal: cinco-dos partes de arena o compuesto silíceos. La cal empleada en la dosificación es pura.

— La fábrica de ladrillo, utilizada para la ejecución de zapatas corridas y arriostramiento, es de ladrillos bien cocidos tomados con mortero de cal. La disposición tipológica de dichas zapatas de ladrillo es variada, ya que unas veces se trata de un simple dado prismático y otras de varios dados uno encima de otro configurando un escalonamiento que incrementa la superficie de apoyo a medida que se profundiza en el terreno (figuras 6 y 7).

Sobre el escalonamiento de las cimentaciones habla Palladio de la siguiente manera: «Los fundamentos se construyen a escarpa, esto es, se van estrechando sensiblemente al paso que van subiendo: pero de modo que se retire igualmente la pared por ambas haces, y el centro cayga siempre á plomo...».

Otro edificio, casi coetáneo al Hospital de Las Cinco Llagas, la Lonja de Mercaderes, actual Archivo de Indias, que fue también objeto de estudios previos al proyecto de rehabilitación, sirvió como referencia y comparación en el análisis que se realizó.

El edificio de la Lonja o Archivo de Indias, situado intramuros de un solar cercano a la Catedral de Sevilla, comienza a construirse treinta y siete años

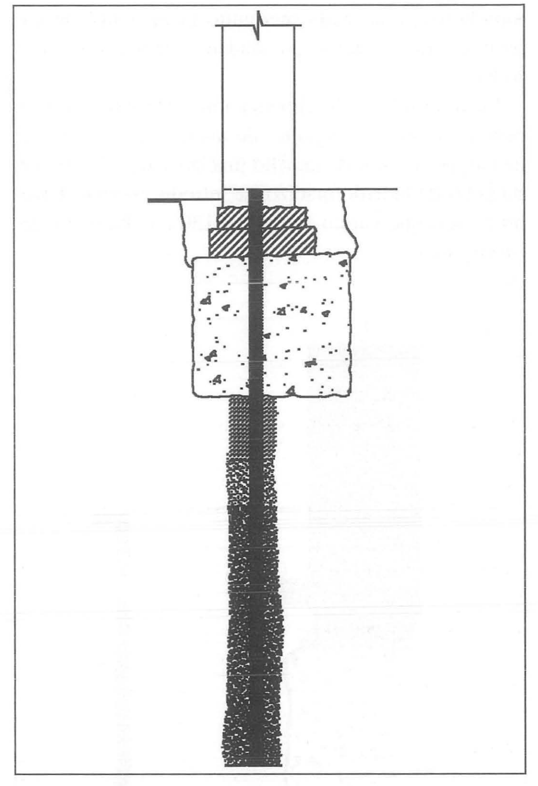


Figura 7

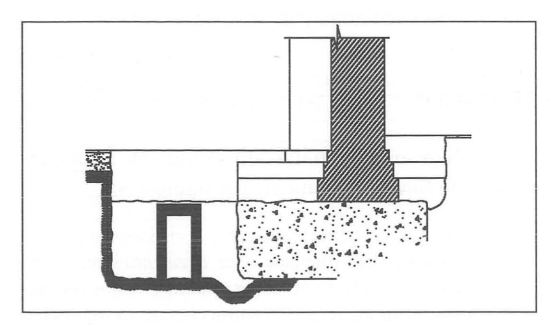


Figura 6

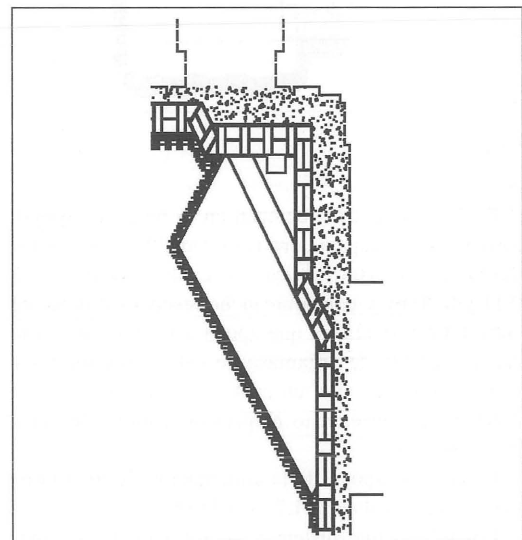


Figura 8

más tarde, en 1583, bajo la dirección de Juan de Herrera. Este edificio, de geometría rectangular, exento, con patios central y dos plantas, se cimenta con una tipología muy similar a la descrita en el Hospital de las Cinco Llagas.

La cota de apoyo de la cimentación de los muros alcanza mayor profundidad, unos 7.00 m. ya que el perfil estratigráfico detectado en los sondeos presenta un nivel superficial de rellenos arcillosos con restos cerámicos en abundancia de baja consistencia, de mayor espesor.

Por otro lado, para su construcción, hubo de proceder al derribo de ciertas edificaciones que existían en la zona, actuación correspondiente —además— a un proceso urbanístico de renovación de la ciudad medieval, por lo que se encuentran abundantes restos cerámicos y el citado relleno poco resistente.

Igualmente, se descubrieron restos de antiguas solerías a una cota de 2.11 m lo cual indica que, probablemente, esa era la cota inicial de la solería del edificio. La cimentación se dispone de igual forma mediante zapatas corridas de argamasa formada por cal, arena, piedras y restos cerámicos, elemento donde apoyan los correspondientes dados de ladrillo macizo, configurando la base de apoyo de pilares de ladrillo y muros de arenisca (figura 9).

Igual que se descubrió en el edificio del Hospital de Las Cinco Llagas, la cimentación de los pilares apoya a una cota inferior que en el caso de los muros, esto es los 2.00 m.

Conclusiones

Las similitudes encontradas en las cimentaciones de ambos edificios nos lleva a pensar que en el siglo XVI existía un modo de construir basado, por supuesto, en actuaciones anteriores de cada arquitecto constructor, pero también en la tradición heredada y asumida desde los diversos textos técnicos que existían en la época.

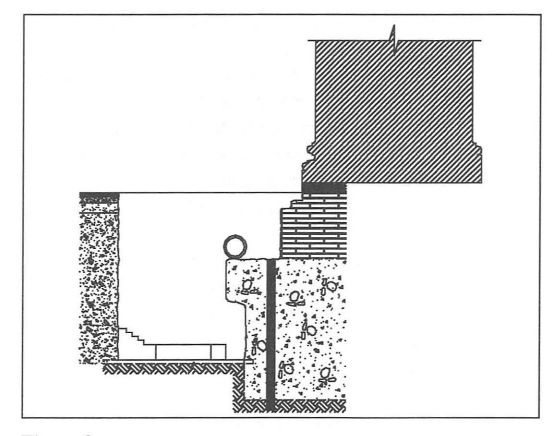


Figura 9
Alcatifa de 1514. El empalomado es una reforma del siglo XVIII

Actualmente, seguimos investigando diversos edificios que nos permitan establecer unas conclusiones concretas.

Bibliografía

A.A.V.V.: *Parlamento de Andalucía*. Ed. Lundwerg.

A.A.V.V.: *Historia de Sevilla*. Ed. Universidad de Sevilla. Sevilla, 1992.

Alberti, L.B.: *De Re Aedificatoria*. Florencia, 1485 (trad. de G.Orlandi; Milán, 1996).

Adam, J.P.: *La construcción romana, materiales y técnicas*. Ed. de los Oficios. León, 1996.

Castro Villalba, A.: *Historia de la construcción medieval, aportaciones*. Ed. UPC. Barcelona, 1996.

González Moreno-Navarro, J.L.: *El legado oculto de Vitruvio*. Ed. Alianza. Madrid, 1993.

Heredia Herrera, A.: *La lonja de Mercaderes*. Ed. Diputación Provincial de Sevilla. Sevilla, 1992

Palladio, A.: *Los Cuatro Libros de Arquitectura*. Ed. Alta Fulla. Barcelona, 1987.

Vitruvio, M.L.: *Los Diez Libros de Arquitectura* (trad. de J.L. Oliver Domingo; Ed. Alianza. Madrid, 1995).

Tradición e innovaciones técnicas en la arquitectura de Gaudí

Joan Bassegoda Nonell

Elementos de construcción en Cataluña en tiempos de Gaudí

Ladrillos

Se hacen en Cataluña con buena arcilla, debidamente moldeada en cajas de madera, puesta a secar al sol y luego cocida en hornos. Tienen fama por su sonido metálico al ser golpeados, por su homogeneidad, la carencia de cal en su masa y su resistencia. Entonces no se conocía la fabricación mecánica al vacío, por lo que Gaudí utilizó siempre ladrillos manuales. Los tipos más frecuentes eran el ladrillo común, el picholín, el rasilla, el ladrillo hueco mahón, el macizo grueso y el doble hueco.[1]

Cal

En Cataluña hay una antigua tradición romana de hornos de cochura de cal. A base de piedra caliza calentada a 800º, el producto obtenido es la cal grasa y después de airearla o tenerla en agua se convierte en cal apagada.

Cementos

En tiempos de Gaudí se utilizaban el cemento natural, el artificial y el Portland.

El cemento natural es una marga de caliza y arcilla que, debidamente triturada, endurece con el agua. No era demasiado frecuente en Cataluña. El cemento artificial se consigue mezclando adecuadamente caliza y arcilla, triturándola luego. El cemento rápido es de color amarillo y endurece en unos 30 minutos.[2] El cemento Pórtland solo tiene un 25 % de arcilla y se somete a 2.000º de temperatura en hornos giratorios. Es perfecto para el hormigón armado por su adherencia con el hierro y su gran resistencia.[3]

Yeso

Se trata de sulfato cálcico anhidro. Se encuentra en su estado natural formando unas rocas que, debidamente calentadas en hornos, producen un polvo blanco que se usa como cemento sin mezcla alguna de arena, pero sí de agua. Se expande un 1 % de su volumen. Es de gran tradición en Cataluña para hacer tabiques y bóvedas pero no es apto para exteriores.

Mortero

Mezcla de cal o cemento con arena y agua utilizado para unir sillares de piedra o ladrillos. Con el tiempo, alcanza una gran resistencia. En catalán se llama *barreja*.

Hormigón

Mezcla de cal o de cemento, arena, agua y piedra, usado para muros gruesos o cimientos. En catalán se

llama *morter*. Si es de cemento Portland con varillas de hierro es el hormigón armado.

Piedra artificial

Material fabricado con cemento o cal, arena y pequeñas piedras imitando la piedra natural mediante moldes. Se le añadía en tiempo de Gaudí la puzolana[5] para darle propiedades hidráulicas. En la Finca Guell y en la Casa Calvet hay buenos ejemplos de piedra artificial con diseño de Gaudí.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN CARACTERÍSTICOS EN CATALUÑA

Piedra en seco

En catalán, *construccions de pedra en sec,* significa la formación de bancales y barracas de viña en los campos muy pedregosos del Penedès, Anoia, Conca de Barberà y otras comarcas catalanas. Los campesinos subdividen los campos con bancales para salvar desniveles y aprovechan las piedras que extraen de los viñedos y campos de labranza para hacer las barracas de viña.[6]

Tabicados planos

La palabra *tabique*, en catalán *envà*, define un muro de ladrillo de tal forma que los ladrillos se hallan *por tabla*, es decir, unidos por la parte estrecha, con lo que se obtienen paredes muy delgadas aptas para la separación de habitaciones.

Los tabicados planos pueden ser tabiques de panderete o tableros tabicados según sean verticales u horizontales. Son de uso frecuentísimo en la arquitectura catalana e incluso en ocasiones se usan como paredes de carga.

El tablero tabicado se forma sobre las viguetas de un forjado con dos o tres gruesos de rasilla y son muy comunes en Cataluña. Cuando se trata del caso de terrados o azoteas se hacen con tres gruesos de rasilla, siempre a matajuntas, y un cuarto grueso de rasilla fina o recortada para pavimento. Se reciben siempre con mortero de cal o cemento. En cambio para tabiques interiores alas casas, se toman con yeso.[7]

Bovedillas tabicadas

Llamadas en catalán *revoltons*, son pequeñas bóvedas de cañón formadas por ladrillos o rasillas entre las viguetas de un forjado.

Bóvedas tabicadas

Esta importante forma de construir fue una constante en la obra de Gaudí basada en la mejor tradición constructiva catalana. En catalán, se llaman *voltes de mao de pla*; tienen toda clase de formas en el espacio y se suelen hacer con una primera hoja o sencillo tomada con yeso o rápido y la segunda o doblado recibida con mortero de cal o cemento lento. La primera hoja suele ser de rasilla y la segunda de ladrillo mediano. Los ladrillos siempre colocados por tabla a matajuntas.[8]

Bóvedas de escalera

En catalán *voltes d´escala*; son bóvedas tabicadas para formar tramos de escalera con arcos por tranquil (*arc coix*) o formas continuas de generación helicoidal.

La habilidad de los albañiles catalanes en este menester era, y es todavía, notable. No acostumbran a usar cerchas o cimbras. A los especialistas se les llama *escaleristas* y cuando se tiene construida la caja de escalera acuden a la obra estudiando detenidamente el espacio y los desniveles e, inmediatamente y sin ningún dibujo previo, trazan los perfiles de las bóvedas sobre los muros con un clavo encima de unas franjas de revoco de yeso que han formado en la zona donde preveen que han de pasar la bóveda y acto seguido inician la construcción por la parte inferior, ayudándose —solamente— de una regla y una plomada, colocan los ladrillos o rasillas del sencillo con yeso o cemento rápido sosteniendo la pieza debidamente untada (enllardada) con el cemento colocado en sus bordes, contra el muro o el ladrillo inmediato durante un breve rato. A los pocos segundos, la sueltan y la pieza queda en su sitio. Se repite la operación hasta terminar la bóveda del sencillo. Encima se extiende mortero de cal o cemento y se hace el doblado con ladrillos medianos, siempre a matajuntas. La resistencia de la bóveda tabicada es tal que los al-

bañiles andan por encima de ella, incluso con el sencillo solamente.[9]

Azoteas

Se construyen, tal y como queda dicho, sobre tres gruesos de rasilla común de tablero tabicado y una cuarta parte de rasilla recortada. Entre el forjado del último piso y esta azotea tabicada, se deja una cámara de aire mediante unos tabiquillos conejeros (*envanets de sostre mort*) separados unos 60 cm.[10]

Cítaras a media asta

En catalán, se conocen como *parets de tres quarts*. Son muros de carga interiores a las construcciones de casas de habitación que tienen un grueso de 15 cm. formadas por aparejo de ladrillo a soga. Con estos muros portantes, se hacen casas de cinco y más alturas que entre el peso propio y la sobrecarga de forjados y cubiertas, soportan en la planta baja cargas muy superiores a las que teóricamente puede resistir el ladrillo, que es de 10 kg./cm. La excelente calidad del ladrillo y su adecuada puesta en obra junto a los buenos morteros de cal o de cemento, hacen posible que haya perfecta estabilidad.[11]

Los métodos tradicionales catalanes en la obra de Gaudí

En la familia de Gaudí nunca hubo arquitectos, por lo que obtuvo el conocimiento del oficio a través de las enseñanzas de la Escuela Provincial de Arquitectura de Barcelona. Allí sus profesores de Construcción fueron Juan Torras Guardiola y Leandro Serrallach Mas. Conviene tener en cuenta que esta Escuela se estableció en 1871 ya que antes existía solamente la Escuela de Maestros de Obras de la que también fue profesor Juan Torras Guardiola.[12] Para conocer lo que Gaudí pudo aprender de esta materia de la construcción hay tres importantes fuentes:

1. Las *Lecciones de Construcción* del profesor Juan Torras Guardiola explicadas en la Escuela de Maestros de Obras de Barcelona de 1860, tomados por el alumno Macario Planella Roura.[13] Forman un manuscrito de dos volúmenes, uno de texto y otro de láminas. Fue adquirido por la Cátedra Gaudí y la nieta de Planella en 1984 y es inédito.
2. Apuntes de *Manipulación de Materiales de Construcción*, del profesor Leandro Serrallach Mas, explicados en la Escuela Provincial de Arquitectura. Serrallach fue profesor de esta asignatura desde el establecimiento de la Escuela en 1871 hasta 1890. Gaudí asistió a las clases de este profesor e incluso llegó a trabajar como delineante en su despacho en 1876.
3. *Apuntes de Construcción* del profesor Joaquín Bassegoda Amigó (1854-1938). Este arquitecto, compañero de carrera de Gaudí, fue profesor de construcción desde 1890 hasta 1924. Sus apuntes se guardan en la Cátedra Gaudí y componen tres volúmenes con 130 lecciones.[14]

En los apuntes de Torras, tomados por Planella, al hacer referencia a las bóvedas tabicadas de escalera dice textualmente: «Los operarios no ponen siquiera plantilla o cercha, tal es la práctica y soltura con las que hacen», frase que acredita la ya entonces fama de los escaleristas. Sólo menciona el yeso para la fabricación de bóvedas mientras Bassegoda alude al cemento rápido para el sencillo de la bóveda.

Gaudí y los oficios

La carrera de arquitecto ha adolecido desde el Renacimiento del defecto de ser demasiado teórica, por lo que los estudiantes acaban conociendo la teoría de la arquitectura pero no su práctica.

Gaudí, hijo de un artesano, se interesó por los oficios manuales que rodean y completan la arquitectura y procuró conocerlos y practicarlos. Trabajó en los *Talleres Eudaldo Punti*, en la calle de la Cendra del barrio del Pedro de Barcelona, junto al taller de Lorenzo Matamala. Allí conoció Gaudí la forja, el hierro colado, la carpintería, la vidriera, el modelado en yeso, etc. En este sentido, tuvo una gran ventaja sobre sus colegas contemporáneos.[15]

Innovaciones constructivas aportadas por Gaudí

Gaudí fue el primero en utilizar profusamente el mosaico de azulejo troceado (en catalán, *trencadís*). La

razón no era caprichosa sino fruto de la necesidad de revestir con azulejos una superficie alabeada.

Era costumbre en Cataluña alicatar ciertas bóvedas en las partes bajas de las escaleras. Como quiera que la curvatura de estas bóvedas era poco pronunciada, se conseguía recubrirla con azulejos partidos por su diagonal formando triángulos equiláteros. Al querer Gaudí recubrir superficies de más pronunciada curvatura, se decidió por la técnica romana del mosaico pero usando como teselas fragmentos de azulejos. Cuanto más curvada es la superficie a cubrir, más pequeños han de ser los trozos de azulejo.

Este sistema fue luego ampliamente usado por otros arquitectos del tiempo de Gaudí.

Además de importantes innovaciones en el campo de la cerrajería y la carpintería, que Gaudí inventó partiendo de lo que pudo ver en el taller de Punti, hay un método que merece ser comentado. Se trata de la prefabricación de elementos constructivos que luego han sido de uso frecuente en la arquitectura moderna, aunque de modo industrial, en tanto que el proceder de Gaudí fue plenamente artesano.

Para conseguir este tipo de piezas, mandaba hacer nos moldes de madera a su carpintero Juan Munné. Estos moldes debían tener las más variadas formas pues iban a servir para muy distintas finalidades. Para hacer mosaicos de piedras pequeñas y rústicas, ponía estas piedrecitas al fondo del molde, encima echaba una capa de mortero de cemento rápido o de cal y acto seguido se formaba una bóveda tabicada de dos gruesos de rasilla. Si lo que se deseaba era una superficie de trencadís, se colocaban los pedazos cerámicos en el fondo del molde y encima se hacía la bóveda tabicada. El resultado era una base resistente de ladrillo que por su cara externa presentaba una superficie decorada con piedras o azulejos rotos. A primera vista, parece un aplicado hecho a posteriori pero en realidad son piezas totalmente prefabricadas.

Estas innovaciones en el campo de la construcción se completaron en el campo de la geometría con la que Gaudí compuso su arquitectura.

En sus obras, pueden verse sistemáticamente empleado el arco parabólico y el catenárico que son los de formas mecánicas más perfectas.

La forma que adopta espontáneamente un arco cargado uniformemente a lo largo de su extensión es una catenaria.[16] Se llama así a la cadena sujeta por sus extremos si sus eslabones son iguales. Esta forma suspendida es para el material que trabaja estirado. Si se da vuelta a la curva y en vez de la cadena se ponen piedras o ladrillos se tiene el arco catenárico que trabaja por compresión.

Cuando la carga es uniforme, no a lo largo de toda la curva sino a lo largo de su proyección horizontal, entonces la curva es una parábola.

Desde finales del siglo XVII era conocida la ecuación de la catenaria y sus propiedades mecánicas pero sólo en muy raros casos se utilizó el arco catenárico en arquitectura pues a pesada carga cultural de los arquitectos les hacía pensar que esta forma mecánica era fea y poco apta para la construcción, en la que se siguieron empleando los arcos semicirculares o elípticos.

Gaudí, careciendo de prejuicios culturales arquitectónicos, comprendió que el arco de catenaria por ser el más mecánico y por tanto funcional, debía ser el más hermoso, pues la naturaleza crea las formas útiles y bellas al mismo tiempo.

De los arcos mecánicos pasó Gaudí al estudio de las bóvedas cuyas formas determinó empíricamente mediante los polígonos funiculares que estudió en una maqueta de cordeles con sacos de lona conteniendo perdigones que se suspendían de los cordeles, con un peso 10.000 veces menor a las cargas que debían insistir sobre los arcos. En este caso, los cordeles toman la forma de un polígono abierto que, una vez fotografiado e invert¡da la fotografía, daba la forma mecánica de los arcos que soportaban cargas puntuales en vez de uniformes.

Tal manera de proceder, ingeniosa y simple a la vez, llamó poderosamente la atención de los ingenieros y arquitectos contemporáneos de Gaudí, pero nunca se decidieron a imitar su ejemplo, prefiriendo los cálculos mediante la estática gráfica sobre planos.

Otra valiosísima aportación de Gaudí al campo de las formas y estructuras fue la utilización de la llamada geometría reglada, es decir, superficies alabeadas en el espacio compuestas únicamente por líneas rectas. Esta geometría fue estudiada por primera vez en el siglo XIX, en los inicios de la geometría descriptiva, pero Gaudí fue quien aprovechó de estas superficies regladas, que responden a los complicados nombres de hiperboloide, paraboloide hiperbólico, helicoide o conoide, pues comprendió que son mucho más frecuentes en la Naturaleza que los sonidos geométricos generalmente utilizados en la Historia de la Arquitectura, como son el cubo, la esfera y el prisma.

Si estas formas son más próximas a la Naturaleza y además muy fáciles de construir puesto que son líneas rectas, unas junto a otras, con inclinaciones distintas, lo normal es hacer uso de ellas en la construcción.

Para construir una bóveda que sea un paraboloide hiperbólico, basta colocar una regla sobre la cual se construyen sucesivamente las hiladas de piedras o ladrillos. Las rectas unen constantemente a otras dos no paralelas en el espacio y el resultado es precisamente el paraboloide hiperbólico.

Los albañiles pueden construir estas bóvedas sencillamente y de un modo muy rápido. En largos y complicados estudio, que jamás publicó, Gaudí fue perfeccionando estas formas de la geometría reglada y consiguió, por medio de intersecciones de polígonos estrellados, inéditas y magníficas columnas que se componen inclinadas y con ramificaciones, como los árboles, que son las columnas que la Naturaleza ha creado desde tiempo inmemorial con insuperables resultados.[17]

NOTAS

1. Ladrillo *común* (en catalán, *mao*), 12×29×5,5 cm; ladrillo *mahón* (*maó de quart*), 12×29×4,5 cm.; picholín (*pitxolí*) 10×29×5,5 cm.; rasilla (*rajola*), 13×26×2 cm. o 14×28×1,5 cm.; ladrillo hueco mahón (*maó foradat*), 12×29×5,5 cm. con orificios cuadrados en el grueso y que no existía en tiempo de Gaudí; ladrillo *mediado* (*maó mitjá*), 12×29×3 cm.; ladrillo *macizo grueso* (*totxo*), 14×29×8 cm.; ladrillo *doble hueco* (*totxo foradat*), 14×29×8 cm. con doble fila de orificios cuadrados en el grueso, y que tampoco existía en época de Gaudí.
2. El cemento rápido es una mezcla de un 30 % de arcilla y un 70 % de caliza, cocido a baja temperatura, inferior a la vitrificación de los componentes. Después de la cochura, se deja airear y se muele muy fino. Actualmente, se suministra en sacos herméticos de papel pero en tiempos de Gaudí iba en barriles de madera con fondo de papel. La humedad lo daña lentamente. Cuando se opera con él debe mezclarse con el agua en pequeñas cantidades y aplicarlo inmediatamente en obra si no pierde sus propiedades.
3. El cemento portland se usaba en España importado de Francia. A partir de 1898, el ingeniero Ignacio Ribera y el arquitecto Claudio Durán empezaron a utilizar el hormigón armado.
4. Por ejemplo, en el monasterio de Pedralbes las bóvedas de la iglesia son de piedra y tienen encima una simple azotea de ladrillo porque ambos materiales están tomados con mortero de cal. La sala capitular del siglo XV, en cambio, tiene encima de la bóveda, que es tabicada y recibida con yeso, con una cubierta de pabellón de tejas para evitar que el agua llovediza alcance el yeso de la bóveda.
5. La puzolana es una especie de piedra pómez muy ligera que se encuentra en el subsuelo en forma natural.
6. Las barracas de viña se hacen con piedras más o menos planas formando cúpulas, sin ninguna clase de mortero. El interior es muy fresco en verano cuando se ha de trabajar el campo. Al respecto véase: Bassegoda Nonell, J.: «Las barracas de viña», *San Jorge*, nº 98-99, Barcelona, diciembre 1976, pp. 65-72 y Rubió Bellver, J.: *Les construccions de pedra en sec*. Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña, 1914, pp. 35-105. La forma cupular de la barraca es la llamada falsa cúpula en la que cada hilada de piedras vuela sobre la inmediata inferior contrapesando los esfuerzos. La resultante mecánica es sensiblemente una catenaria.
7. El tabique *de panderete* (en catalán *envá de maó de quart*) tiene 4,5 cm. de grueso y se recibe con yeso. El tablero tabicado (*solera*) puede tener dos o tres gruesos cuando es sobre el forjado de un piso. Se llama sencillo (*senzill*) al primero y doblados a los demás (*doblats*). Se recibe siempre con mortero de cal o cemento.
8. Las bóvedas tabicadas son comunes en Cataluña desde la Baja Edad Media, La más antigua documentada es la de la capilla Real de la catedral de Barcelona construida por orden de Martín I en 1407, a la que siguen las del claustro del Hospital de la Santa Cruz y la Sala Capitular de Pedralbes. Pueden adoptar cualquier forma, de cañón seguido, por arista, de rincón de claustro, vaídas, lunetos, etc. Se acostumbra hacerlas sin cimbra solamente con sencillas cerchas y reglas de madera y los albañiles catalanes demuestran una gran habilidad en su fábrica. Fueron comunes en toda España desde el Renacimiento pero en el siglo XIX es en Cataluña donde más se empleaban. Hay una extensa bibliografía sobre este tema que puede consultarse en Bassegoda Nonell, J.: *La cerámica popular de la arquitectura gótica*, Barcelona, 1977.1983, pp. 124-125.
9. Cuando se hacen escaleras de caracol de paso muy estrecho (50 cm.), como en el caso de las torres de la muralla de Poblet cuyos forjados fueron rehechos a principios de este siglo, no hay espacio para usar rasillas enteras y entonces se cortan en pedazos (*peces*) de pequeño tamaño(6×5 cm.) que confieren a la bóveda calidad de mosaico. Con el sistema de las bóvedas tabicadas se puede hacer arquitectura pero también escultura. Gaudí usó del sistema a profusión como luego se explicará.
10. Gaudí convirtió estos tabiquillos conejeros en grandes arcos catenáricos y lo que eran solo cámaras de aire en

los edificios de Gaudí se convierten en amplios desvanes.

11. Respecto a este tipo de muros y bóvedas, cuyas resistencias parecen ser muy superiores a las que normalmente se les asigna es interesante recordar lo que escribió Félix Cardellach en un luminoso artículo titulado «La mecánica de Gaudí», en *La Veu de Cataluña*, de Barcelona, el 20 de enero de 1906: «A los conocedores de las actuales teorías de resistencia de materiales no se lea escapa la nueva orientación mecánica que llevan impresas las construcciones de Gaudí, pero quien como yo ha tenido la fortuna de hablar de tales cosas con su autor, ha vislumbrado muchísimas, grandes, atrevidas y poderosas innovaciones que sorprenden todavía mas por su lógica constructiva. Por lo general los sistemas empleados hoy por Gaudí derivan de la hipotética teoría de la fibrosidad de los cuerpos flexibles... los perfiles caprichosos empleados en bóvedas no son otra cosa que formas racionales de equilibrio». La autoridad de Félix Gardellach, arquitecto, ingeniero y profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, avala las consideraciones sobre la manera de construir de Gaudí.

12. La carrera de Maestros de Obras tenía una duración de tres años y el título sólo facultaba para realizar obras particulares. La Escuela de Maestros de Obras de Barcelona se estableció en 1850 y se extinguió en 1871. Al respecto, véase: Bassegoda Nonell, J.: *Los Maestros de Obras de Barcelona*, Barcelona, 1972-73.

13. Macario Planella Roura (1819-1899) fue Maestro de Obras con título de 1863. Fue Presidente del Centro de Maestros de Obras de Barcelona y actuó como contratista en la construcción de la cripta de la Sagrada Familia cuando la dirigía F. de P. del Villar. En los Apuntes de Planella la descripción de las bóvedas tabicadas esta en el Capítulo 43 (pp.197-200) y la construcción de este tipo de bóvedas en el Cap. 44 (pp. 200-206).

14. Toda vez que la técnica de bóvedas y tableros tabicados no ha variado salvo en el uso del cemento portland en vez de la cal o el cemento lento, los apuntes de Bassegoda tienen el mismo interés que los de Planella o de Albareda. Son igualmente inéditos.

15. El escultor Juan Rebull Torroja (1899-1974), natural de Reus, decía de su paisano Gaudí que era un *bricoler*. Esta afirmación, que intentaba ser despectiva, en realidad era un elogio para Gaudí pues efectivamente sabía dirigir los trabajos manuales tanto como las grandes obras arquitectónicas.

16. Un estudio de la catenaria y de su utilización en la arquitectura puede encontrarse en: Bassegoda Nonell, J.: «El arco de festón, Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 3º época, nº 847, Vol. XLVI, nº 20, Barcelona, 1986 y también en Rainer Graefe: «Zur Formgebung von Bögen und Gewölben», Architectura, Zeitschrift für Geschichte der Baukunst, München, 1986, nº1 / 86.

17. La sencillez de las formas de la geometría reglada está en razón inversa a la complicación de los nombres con que se designan. La forma más sencilla del paraboloide hiperbólico, el que usó Gaudí, se arregla disponiendo dos rectas no paralelas en el espacio, llamadas directrices, sobre las que se deslizan obras que son las generatrices. El conjunto de las generatrices determina el paraboloide hiperbólico. Gaudí halló incluso en esta forma un símbolo religioso de la Santísima Trinidad ya que las directrices serían el Padre y el Hijo y la generatriz el Espíritu Santo. Antes de Gaudí no habían sido empleadas estas formas en la construcción y después de él solamente Candela, Nervi, Otto, Torroja y algún otro han intentado aprovechar esta innovación revolucionaria que al mismo tiempo tiene un origen natural y es muy sencilla de comprender y formar. Es la llamada difícil sencillez.

Architecture et art de bâtir dans l'*Encyclopédie* (1751-1780)

Antonio Becchi

Des ouvrages illustres sont alignés dans la multitude des textes considérés comme les modèles des grandes encyclopédies du XVIII[ème] siècle, et en particulier de l'œuvre de Diderot et d'Alembert. Il n'est toutefois pas possible de les assimiler à cette dernière ou de jouer sur l'ambiguïté du terme *Encyclopédie* pour établir des relations thématiques forcées. J. Le Goff l'a bien compris, lui qui a affirmé croire en un «long Moyen Age» qui se termina entre 1750 et 1850, en ajoutant à ce propos: «Bien sûr, on trouverait et on a trouvé dans l'Encyclopédie des survivances des encyclopédies médiévales. Mais il ne faut pas jouer sur les mots. C'est l'encyclopédisme moderne qui naît avec l'Encyclopédie; jusque là on est toujours, plus ou moins, dans l'encyclopédisme médiéval.»[1]

En suivant l'invitation du grand historien, nous ne voulons pas jouer sur les mots, mais nous ne pouvons pas nous empêcher de faire un pas en arrière pour introduire le sujet. Ce pas en arrière nous conduit à l'*Essay des merveilles* de René François, où est décrit, avec une rare efficacité, l'esprit qui anime les auteurs des nouvelles entreprises d'édition. À ceux qui, dans la tentative de décrire un art «font pitié à l'auditeur qui reconnoît assez qu'ils sont au bout du monde et au bout de leur François», notre auteur suggère une autre voie, qui privilégie le concret de l'expérience artisanale et le contact direct avec le langage que celle-ci a formulé: «De là venoit —écrit François— qu'on disoit d'un qui avoit miraculeusement parler [sic] du chant du Rossignol qu'il sembloit qu'il eût esté Rossignol luy mesme; de l'autre qu'il sembloit un homme qui aimais n'avoit humé autre air que celui des armées, tant parloit-il dignement des combats.»[2] Le chant du Rossignol, plus que le célèbre *Discours préliminaire*, indique avec spontanéité un but à atteindre, situé entre le récit captivant et l'information rigoureuse. Outre à représenter une suggestion pour le mouvement de recherche qui analyse le rapport étroit existant entre la rhétorique et la science, il trace les deux pôles à l'intérieur desquels allait se développer l'aventure encyclopédiste: d'un côté, l'exigence de raconter une histoire pour reconstruire la genèse d'une idée, d'un concept, d'un objet —avec des méthodes qui vont du dictionnaire étymologique au traité philosophique— de l'autre, la nécessité de respecter et d'éclaircir, à l'intérieur de ce récit, les termes clés qui en représentent l'ossature et qui rendent intelligible la narration, dans un renvoi constant à ce qui a été défini et circonscrit ailleurs ou précédemment. Le passage des exigences du récit aux nécessités de définition, ou plutôt l'oscillation continuelle entre les deux, est présente dans toute l'histoire de l'écriture pour encyclopédies. Pour se limiter aux XVIII[ème] et XIX[ème] siècles, que l'on pense à l'*Histoire des Arts*, qui devait être publiée à partir des documents réunis par l'Académie des Sciences de Paris pour confluer ensuite avec l'ouvrage démesuré de Diderot et d'Alembert, mais également au *Dictionnaire raisonné* qui sera compilé par Viollet-le-Duc, où, comme Viollet lui-même l'écrit: «Ces raisons, notre insuffisance peut-être, nous ont déterminé à donner à cet ouvrage la forme d'un *Diction-*

naire. Cette forme, en facilitant les recherches au lecteur, nous permet de présenter une masse considérable de renseignements et d'exemples qui n'eussent pu trouver leur place dans une histoire, sans rendre le discours confus et presque inintelligible.»[3]

L'ARCHITECTURE DANS L'*ENCYCLOPÉDIE*.

Dans la relation entre l'histoire et le dictionnaire, l'architecture semble ne pas être capable de saisir les meilleures propriétés de l'une et de l'autre. En consultant l'Encyclopédie, on est étonnés par la brièveté de l'article *Architecture*: rédigé par Jacques-François Blondel en suivant la même démarche que ses *Cours*, l'article en question apparaît bâclé et ambigu. L'architecture est définie «en général l'art de bâtir. On en distingue ordinairement de trois especes; savoir, la *civile* qu'on appelle *architecture* tout court, la *militaire, & la navale*. l'Ordre encyclopédique de chacune est différent. Voyez l'Arbre qui est à la suite du Discours préliminaire.»

L'architecture renvoie à l'article *maçonnerie*, dans lequel, en remontant à Isidore de Séville et à sa très célèbre *Etymologia,* est rappelée la racine du terme *maçon*: de *machio*, *machine*: «a cause des machines qu'il emploie pour la construction des édifices et de l'intelligence qu'il lui faut pour s'en servir». Mais dans le jeu des dérapages conceptuels, la dimension mécanique, liée au processus de la construction, se défait petit à petit jusqu'à devenir une conception du projet d'architecture qui est essentiellement composition. Il est donc difficile de trouver des repères pour analyser les relations entre architecture, art de bâtir et mécanique, malgré la singulière concomitance d'événements qui, au cours du XVIIIème siècle, avaient éveillé dans les consciences l'inévitabilité d'une osmose entre l'architecture et les disciplines mécaniques.

La première moitié du siècle voit la formulation d'importantes théories, bien connues, pour le dimensionnement des arcs, des voûtes et des piédroits, avec les contributions fondamentales de Gregory, De la Hire, Couplet, Belidor, de même que la diatribe pour l'intervention de restauration statique sur la coupole de Saint-Pierre. De plus, il se produit à la même époque une rencontre féconde entre la théorie et la pratique dans le cadre des recherches appliquées aux constructions. La même personne additionne des compétences inconcevables avant le tournant mécanique réalisé par Galilée, mais inconcevables même un siècle plus tard. Que l'on pense à Ph. De la Hire, auteur de mémoires scientifiques bien connus, mais aussi du *Traité de la coupe des pierres* et d'un *Traité d'architecture civile*; fin mathématicien et géomètre, rédacteur du *Brouillon project* de Desargues, mais aussi enseignant et directeur à l'*Académie d'Architecture*; que l'on pense à A.-F. Frézier, ingénieur du Roi, expert en stéréotomie, constructeur de la chapelle de l'Hôpital de Landau, mais aussi auteur de la première reconstruction historique exhaustive sur l'histoire de la poussée des voûtes;[4] que l'on pense à Danyzy, rédacteur du mémoire *Méthode générale pour déterminer la résistance qu'il faut opposer à la poussée des Voûtes*, commentant ses essais expérimentaux sur des modèles d'arcs en plâtre, mais aussi auteur prometteur d'un essai dédié à l'*Application de la Statique à la construction des Bâtimens* —dont il n'est malheureusement pas resté de trace, pour autant que nous sachions—, premier livre, peut-être seulement annoncé, entièrement dédié à la mécanique appliquée aux constructions.[5]

Ces personnages, et d'autres dont l'historiographie, pour l'heure, ne nous a pas laissé de témoignages, laissent deviner une très vive effervescence autour du thème de l'architecture, considérée dans ses implications au niveau de la statique et de la construction, et non seulement à cause de la spéculation mathématique qui lui est naturellement associée et sur laquelle beaucoup a été écrit.

LA *CONSTRUCTION*

Mais de ces expériences, que rentre-t-il dans la *Cyclopaedia* de Chambers, dans l'*Encyclopédie* de Diderot, dans l'*Encyclopédie Méthodique* de quelques années plus tard? Pas grand chose ou rien du tout, quoique les recherches que nous avons rappelées fussent suffisamment connues.

Pour comprendre les raisons de ce silence, il faut s'arrêter sur la personnalité de J.-F. Blondel, fondateur et directeur de l'*École d'Architecture*, institution qui fut choisi de son homologue *École des Ponts et Chaussées* pour former une association pédagogique significative. Il faut rappeler que cette dernière naît comme école de dessin, où entre autres le dessin à la main a des implications sur la construction que nous

avons du mal à concevoir aujourd'hui, et que par la suite seulement, elle s'est élevée au rang de symbole de la culture de l'ingénieur, distincte de la culture typique de l'architecte. Enseignant passionné et auteur d'un fondamental *Cours d'architecture*, Blondel a le même âge que Frézier et partage son savoir, vaste et articulé, qu'il décide d'exploiter à des fins pédagogiques, l'enseignement étant pour lui comme une mission de formation pour les nouvelles générations d'architectes. C'est lui qui, dans le *Discours sur la nécessité de l'étude de l'architecture,* confirme la distinction entre art libéral —architecture— et art mécanique —Maçonnerie, Charpenterie, Menuiserie, etc.—,[6] mais qui insiste aussi —dans l'essai *De l'utilité de joindre à l'étude de l'architecture, celle des sciences et des arts qui lui sont relatifs*— sur la nécessité pour un architecte d'acquérir les connaissances «qui font la base de l'étude d'un Ingénieur».[7] Il était inévitable que ce fût lui qui fut chargé de rédiger l'article *Architecture*, de même que l'article intitulé *Arc*, parce que, comme il est écrit dans le *Discours préliminaire,* «on ne pouvoit à toutes sortes d'égards, faire un meilleur choix». Mais, en s'acquittant de sa dure tâche, il fait montre d'une conception qui, on le comprendra au siècle suivant, sera fatale pour l'évolution des rapports entre l'idée de composition et l'idée de construction de l'architecture. L'image de Blondel qui nous est renvoyée ne reconnaît pas à leur juste valeur les indications programmatiques contenues dans les écrits que nous avons cités, et nous le fait apparaître sous le jour rhétorique, désormais vidé de réel contenu, qu'il a fini par assumer malgré les généreuses déclarations de principe.

La sélection des thèmes est explicite et volontaire, elle n'est pas due à la marginalisation préventive de ce qui n'était pas considéré comme pertinent à l'architecture. Plutôt, on assiste à une sous-estimation des raisons qui prennent pied en sourdine, et qui abaissent le rôle de la dimension constructive dans le projet, rôle nécessaire certes, mais tout de même ancillaire. Sous-estimation tout à fait évidente dans l'article *Construction*, où la partie consacrée à l'acception architectonique du terme se réduit à ces quelques lignes: «l'art de bâtir par rapport à la matière. Ce mot signifie aussi *l'ouvrage bati.* Voyez Architecture, Maçonnerie, Charpenterie, Menuiserie, &c.»

La réévaluation des arts mécaniques dans les domaines où ceux-ci assument une propre individualité, qui leur manquait auparavant, coïncide avec une mise en marge de ceux qui au contraire avaient contribué depuis toujours à définir une discipline complexe et multiforme comme l'architecture. Seulement de cette façon peut-on expliquer le fait qu'un article important comme *Voûte* est attribué au Chevalier De Jaucourt, dont il est dit, dans la présentation du volume II de l'Encyclopédie «que la douceur de son commerce & la varieté de ses connoissances ont rendu cher à tous les gens de letteres, & qui s'applique avec succès dinstingué à la Physique & à l'Histoire Naturelle. (...) [Ses] articles sont les débris précieux d'un Ouvrage immense, qui a péri dans un naufrage, & dont il n'a pas voulu que les restes fussent inutiles à son patrie.» Quand De Jaucourt affronte le thème de la *Théorie des voûtes*, le renvoi aux études précédentes est limité à De la Hire. Jusque là, rien de bien surprenant; par contre, on est franchement déconcerté à la lecture de la prétendue théorie de De la Hire, circonscrite, selon De Jaucourt, aux considérations suivantes: «La regle de M. de la Hire est d'augmenter le poids de chaque pierre au-delà de celui de la clef, d'autant que la tangente de l'arc de la pierre excede la tangente de l'arc de moitié de la clef.» Les paroles de De Jaucourt sont la copie conforme de ceux de Chambers, à leur tour fidèle paraphrase de ceux de Gautier, écrits en 1716 pour la première édition de son *Traité des Ponts.* Et à la règle de De la Hire, l'explication s'interrompt, après une fugace citation de Parent, sans faire mention de l'application du principe du levier pour le dimensionnent des piédroits; aucune place ne lui est réservée non plus évidemment dans l'article *Arc* de Blondel, copié encore de la *Cyclopaedia* de Chambers, qui à son tour l'avait empruntée aux *Elements of Architecture* de Henry Wotton.

On pourrait penser que c'était là une exigence de synthèse, adaptée aux nécessités d'une encyclopédie qui, comme l'écrivit Diderot dans le *Prospectus* de présentation, «pourroit tenir lieu de Bibliotheque dans tous les genres à un homme du monde; & dans tous les genres, excepté le sien, à un Sçavant de profession». Mais si après avoir lu les deux colonnes dédiées aux *Voûtes* et la page avec laquelle on se débarasse du terme *Arc*, on passe à l'article *Pieux, Pilots* ou *Pilotis*, on trouve alors 22 colonnes signées par Perronet, dans lesquelles sont analysées dans les détails les études les plus récentes relatives aux quatre sujets traités: «dimensions, positions, espacemens &

battage», avec dûment indiquées les indications bibliographiques et le nombre de pages; et c'est ici que l'on trouve les noms de Jousse, De la Hire, Buffon, Parent, Musschenbroek, Bultet, Gautier, De Camus, Mariotte.

Donc, les nouveautés concernant l'art de bâtir sont reléguées dans les méandres cachés des fondations, où ils ne peuvent donner aucune stimulation à l'architecture de ce qui est construit au-dessus. Le «troisième homme», pour reprendre une expression dont sera gratifié l'ingénieur du XIXème siècle du fait de son rôle de médiation entre la science et l'industrie, est obligé de dissimuler son savoir dans des articles mineurs consacrés à des éléments réputés comme secondaires par l'architecture. «Troisième homme», il l'est déjà, mais entre architecture et construction, entre *ouvrier* et *architecte*, vu que ce dernier semble manifester un désintérêt définitif pour la construction, et être de plus en plus attiré par le simple équilibre des formes et par les principes historico-esthétiques qui en régissent la disposition. C'est pour cette raison que le supplément de l'article *Ponts* ne sera pas rédigé par Perronet mais par Voglie, figure aujourd'hui peu connue mais alors très en vue à cause de solutions de construction géniales appliquées dans les fondations du pont de Saumur. Dans ce cas aussi, ce n'est pas le pont dans la ligne de son arche à mettre en cause l'ingénieur, mais le problème de lui assurer des fondations sûres, et, surtout, de démontrer de savoir les réaliser.

Nous sommes loin de la querelle entre Cordemoy et Frézier, où l'on discutait encore sur un pied d'égalité des deux conceptions de faire de l'architecture pour savoir laquelle devait prévaloir. «En fait d'Architecture, comme de tous les Arts liberaux —écrivait Frézier dans les *Remarques sur le Nouveau Traité de toute l'Architecture*— pour juger sainement des choses, & reformer les Ouvrages de ceux qui s'y sont acquis quelque reputation, quoi qu'on ait un fonds de bon sens, il faut être au moins un peu Ouvrier, je veux dire avoir une légere idée de la construction, connoitre les materiaux, ce que l'Art a rendu possible, & ce qui lui reste encore impossible.»[8]

Considérations en guise de conclusion.

Selon Diderot, si un article avait manqué, *l'enchaînement* encyclopédique aurait été coupé. Eh bien, nous devons relever que cet *enchaînement* supposé, fièrement déclaré dans le prélude de l'Éncyclopédie, est interrompu dans le cas de l'architecture: tenue à distance par rapport aux arts mécaniques qui l'avaient aidée à s'imposer comme art libéral, s'étant affranchie des thèmes relatifs à la construction qui ont favorisé son développement, montée à la tribune du *discours*, elle prend les traits qui vont l'entraîner dans une profonde crise au siècle suivant. C'est de cette conception que découlera un sens d'infériorité diffus à l'égard de l'*architecture des ingénieurs*, qui au contraire saura reprendre avec une grande maîtrise les questions qui restaient cachées entre les Pilotis de Perronet.

Le chant du rossignol est donc un chant syncopé, au moins pour ce qui est de l'idée d'architecture qui transparaît dans les articles mentionnés. Sous le signe d'une éclatante trahison de la formulation voulue par Diderot et d'Alembert, qui désiraient suivre les traces de Bacon, le dernier contact avec la bâtisse est délégué aux arts mécaniques, qui en sont les subalternes. La construction reste exclue de la réflexion théorique sur le projet d'architecture, quitte à rentrer avec force et intensité dramatique lorsque les nécessités de sécurité statique semblent venir à manquer.

Il est révélateur de constater que ce que nous venons d'illustrer en relation à l'architecture civile est contredit point par point par ce qui concerne l'architecture navale. Dans le *Système encyclopédique,* la première appartient à l'*Imagination*, la seconde, au contraire, à la *Raison*: dans les Arsenaux, la construction préserve fortement un lien harmonieux avec la tradition et prend les caractères qui deviendront un modèle pour les architectes de l'âge moderne, en commençant par De Baudot, qui bien avant Le Corbusier, indiquera comme exemple à suivre l'*architecture des bateaux*. C'est ici qu'est développée l'idée introduisant l'article *maçonnerie*: machine au service de l'architecture, une machine qui quelque temps après allait entrer dans le langage des ingénieurs pour désigner le comportement des constructions, et qui en l'espace d'un siècle allait former la science des constructions appliquées à l'architecture, à l'instar d'une science de constructions de machines. La référence à l'architecture n'allait plus avoir alors beaucoup de valeur, mais on allait tendre à privilégier une étroite contiguïté avec la mécanique rationnelle.

Dans le domaine naval, l'exemple joue encore un rôle important, et il ne se vérifie pas de séparation

entre le dessin et la construction, entre l'idée de construction et sa réalisation, parce que l'idée du projet ne peut faire abstraction des modalités de sa réalisation, pièce par pièce, expérience sur expérience. À l'article *Vaisseaux,* on peut lire: «L'expérience est la base de toutes les regles des constructeurs. Cette expérience consiste à comparer la bonté de différens bâtimens de divers gabarits, & à choisir une moyenne forme qui réunisse les diverses qualités de ces bâtimens. Ils [les constructeurs] se reglent encore sur les poissons, celui qui va le mieux, doit avoir la forme convenable à un parfait vaisseau.» Voilà l'arsenal de Venise, auquel Galilée s'était inspiré pour son œuvre grandiose, arsenal qui survit encore aujourd'hui en niant une partie substantielle des géniales suggestions galiléennes, au nom d'un savoir qui ne prétend pas *inventer* la «meilleure figure» de la construction, mais la *re-connaître* dans l'expérience.

Figura 1
Vesale, *De humani corporis fabrica* (Bâle,1543) et *Encyclopédie* (Paris,1751-1780), article *Anatomie*

Que reste-t-il alors de la bâtisse telle que l'entendait Vitruve, qui avait polarisé les intérêts des architectes jusqu'à la Renaissance? En ne prenant pas garde pour un instant à l'invitation de Le Goff à ne pas jouer sur les mots, nous pourrions dire qu'il reste la *fabrica* de Vesale (figura 1) —*De humani corporis fabrica* (1543)— avec laquelle s'ouvre l'Encyclopédie: en apparence, cela ne veut rien dire pour l'architecte, sauf les renvois traditionnels à la définition de l'homme comme mesure de toute chose et aux considérations vitruviennes, mais quelque temps plus tard, cette référence allait signifier beaucoup pour la nouvelle génération d'ingénieurs.

Il s'agit en effet de la *fabrica* qui est la structure du corps/structure de l'architecture (fig. 2), dont l'ingénieur se fera le gardien, l'interprète et le garant, imposant un renversement de perspective entre la *mécanique naturelle* et la *mécanique artificielle.*[9]

Dans la première moitié du XIXème siècle, à la fin du «long Moyen Age», on aura à disposition un *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* (1802-1817) de J.-B. Rondelet et un *Dictionnaire historique d'architecture* (1832) de Quatremère de Quincy: deux ouvrages encyclopédiques qui, avec le *Resumé des leçons* (1826) de C.L. Navier, définissent les secteurs

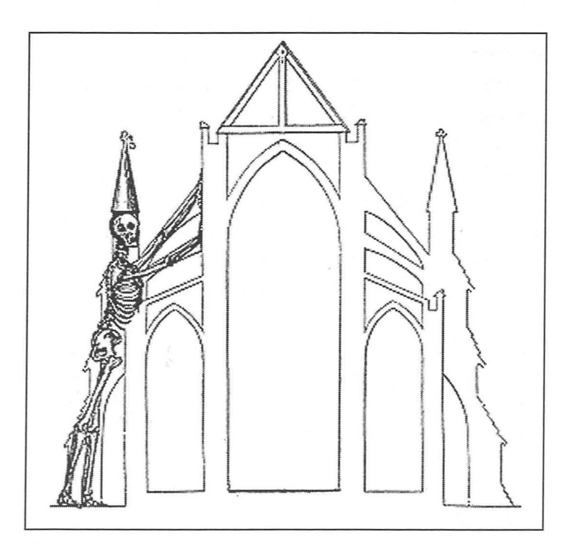


Figura 2
Bartholomew, *Specifications for Practical Architecture*, London 1840

de disciplines respectifs, livrant à notre siècle une idée d'architecture irrémédiablement éclatée. C'est la raison pour laquelle il faudra encore chercher à connaître les relations entre l'Art de bâtir et l'Architecture: sur les cendres du rapport entre l'Architecture et la Construction qui s'était brisé au cours du XVIII[ème] siècle et qui a été consigné dans les pages de l'Encyclopédie.

Notas

1. J. Le Goff in Picone, M. (éd.): *L'enciclopedismo medievale*. Ed. Longo. Ravenna, 1992, p. 23. Pour l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert cf. *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (...). Briasson, Paris, 1751-1780.
2. François, R.: *Essay des merveilles de nature et des plus nobles artifices*. Rouen, 1625. Cf. Guillerme, J. (éd.): *Technique et technologie*. Hachette. Paris, 1973, p. 33.
3. Viollet-le-Duc, E.E.: *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle* (...). Bance, Paris, 1854-1868. Tome I, p. VI.
4. Frézier, A.-F.: *Apendices concernant le dispositif à la Construction des Voutes*, in Frézier, A.-F.: *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois ... ou traité de stéréotomie*. Strasbourg-Paris, 1737-'39, tome III, ch. XII.
5. Danyzy, A.-A.-H.:*Méthode générale pour déterminer la résistance qu'il faut opposer à la poussée des Voûtes* (27 Février 1732). Histoire de la Société royale des Sciences de Montpellier, Lyon, 1778, t. II, p. 52: «Je reserve un plus long détail sur ce sujet pour un Ouvrage intitulé, *Application de la Statique à la construction des Bâtimens*. J'ai tâché de n'y rien oublier de ce qui regarde la poussée des Voûtes, & généralement de tout ce qui me paroît pouvoir contribuer à la solidité ou à la destruction des Ouvrages d'Architecture de quelque espèce qu'ils soient.»
6. Blondel, J.-F.: *Discours sur la nécessité de l'étude de l'architecture*. Jombert. Paris, 1754, p. 17.
7. Blondel, J.-F.: *De l'utilité de joindre à l'étude de l'architecture, celle des sciences et des arts qui lui sont relatifs*. Desaint. Paris, 1771, p. 27.
8. Frézier, A.-F.: «Remarques de Monsieur Frezier Ingenieur ordinaire du Roi, sur le Nouveau *Traité de toute l'Architecture*, de Monsieur de Cordemoy», *Journal de Trévoux ou Mémoires pour servir à l'Histoire des Sciences et des Arts*, tome IX, sept. 1709, art. cxxii.
9. Cf. Becchi, A.: *Between* «natural» *and structural Mechanics*. In Pamplona, D., Steele, C., Weber, H.I., Gonçalves, P.B., Jasiuk, I., Bevilacqua, L., (éds.): *Applied Mechanics in the Americas*. American Academy of Mechanics. Philadelphia (U.S.A.), 1999, vol. 6, pp. 507-510.

Fondos documentales para el estudio de la construcción en el Archivo General de la Marina Álvaro de Bazán

Miguel Ángel de Benito García

De manera resumida, en opinión de Vicenta Cortés,[1] las funciones de los archivos son recoger, conservar y servir los documentos; recoger, custodiar los fondos documentales tanto desde el punto de vista físico como intelectual, e informar sobre los mismos.

En general, podemos afirmar que una de las tareas del personal de archivos es divulgar los fondos documentales y los distintos servicios y posibilidades que puede ofrecer el archivo a los ciudadanos. Entendemos que difundir los archivos consiste en desarrollar, de forma práctica, el derecho de los ciudadanos a acceder a la cultura. Según Luis Martínez, «el objetivo primordial de la difusión en los archivos consistirá en acercar al ciudadano, experto o profano, al contenido de los mismos; al mundo de las instituciones generadoras de documentos...» y, de manera subsidiaria, y consecuencia de este objetivo, «difundir nuestra profesión, desarrollando las bases fundamentales y principios archivísticos».[2]

En consecuencia, los archiveros nos vemos envueltos en un nuevo reto profesional, en adoptar todas las medidas necesarias para satisfacer las necesidades de los usuarios, así como captar a sectores de población poco interesados en estos servicios e incluso desconocedores de su existencia

La celebración del *III Congreso Nacional de Historia de la Construcción* nos da la posibilidad de difundir y acercar al público en general los fondos documentales, que instituciones del ámbito militar han generado en el ejercicio de su actividad y se conservan en el Archivo General de la Marina, relacionadas con el mundo de la construcción civil e hidráulica. La tarea ha sido ardua, pues estos fondos no se encuentran distribuidos con criterios fácilmente comprensibles, por razones dependientes de la evolución histórica de las instituciones y del diferente destino de sus documentos, en razón de las organizaciones y reorganizaciones administrativas. Por ello, su identificación presenta numerosos problemas que pretendemos resolver respetando los principios archivísticos.

Somos conscientes de que gran parte de las fuentes documentales que tienen que ver con la construcción se encuentran custodiadas en lo que se ha dado en llamar «Archivos de Arquitectura». Son los fondos de los diferentes Colegios de Arquitectos, Cámaras de Propiedad, de Comercio... Pero no podemos dejar de lado los documentos que se encuentran en los Archivos de la Administración, procedentes de Ministerios con funciones específicas sobre esta materia, y de otros en cuya preocupación entra la tutela, protección, mantenimiento o construcción de Centros de diversa índole. Igualmente, constituyen un complemento más los archivos históricos militares o de los servicios especializados, como el *Servicio Histórico Militar, el Servicio Geográfico del Ejército...* Sin embargo, Pedro López Gómez en la Reunión del Grupo de Trabajo de los Archivos de Arquitectura del Consejo Internacional de Archivos, celebrada en Washington en 1992, venía a afirmar que «los Archivos de Arquitectura no existen. Existen en cambio, documentos de instituciones que pueden tener, en mayor o menor grado, actividades o competencias en

el campo de la arquitectura. Es mas, afirmamos que no existe ningún organismo, ni público ni privado, que no desenvuelva alguna actividad relacionada, de alguna manera, con asuntos arquitectónicos. Y, por supuesto, existen algunos altamente especializados, que desarrollan todas sus funciones en este campo de conocimiento y afines».[3] Pues los archivos temáticos no existen; existen los de personas o instituciones cuyas actividades se relacionan con el tema, en mayor o menos grado. ¿Qué ocurre? ¿No estaremos confundiendo la palabra archivo con fuente documental?[4]

Françoise Hildesheimer, por su parte, declaraba que «dejando de lado las diferencias institucionales, puede decirse que se trata menos de un problema de instituciones que de fuentes específicas. Estas fuentes pueden ser muy numerosas y diversas, y los archivos de arquitectura no coinciden con los de los arquitectos; su definición es más vasta pues engloban todos los documentos,... que guardan relación con la arquitectura o el urbanismo. Por tanto, se trata de documentos relativos a la arquitectura,..., pero también a las obras públicas, el urbanismo y a la ordenación del territorio, procedentes de las administraciones centrales del Estado.., de las administraciones locales, de los archivos de arquitectos y de sus asociaciones profesionales, o de colecciones cuyo tema es la arquitectura».[5]

Por tanto, la actividad arquitectónica ha dado origen a diversos tipos de materiales que necesitan un tratamiento archivístico, frente a la práctica museográfica que ha perdurado hasta la actualidad.

Centrándonos en el tema, el Archivo Museo *Don Álvaro de Bazán* fue creado por el Decreto de 26 de noviembre de 1948 del Ministerio de Marina como *Archivo General de la Marina*[6]. En el artículo sexto, se establece su finalidad: custodiar «todos los fondos documentales anteriores a 1875» existentes en el Archivo de la Marina o que hubieran pertenecido a Departamentos de Marina y demás dependencias de ella, así como también, «los expedientes personales y hojas de servicio de los individuos de la Armada fallecidos antes de la fecha» indicada. Además, se regulaba la continuidad de ingresos de documentación mediante transferencias, «cada cinco años» se remitirán al Archivo los documentos de los cinco años más antiguos pasados».[7]

De este artículo se deducía su carácter general, recogido de la denominación, lo que suponía que había de ser el depósito para toda la documentación generada por la Armada, al tiempo que se constituía como el archivo último y definitivo para los documentos generados por las Instituciones de Marina.

Para regular el funcionamiento del Archivo-Museo, se contemplaba la existencia de un Reglamento, que nunca fue aprobado. En la actualidad, se aplica el *Reglamento de Archivos Militares*, incluyendo al Archivo dentro del subsistema de la Armada.[8] Es reseñable el hecho de que se estableciese la presencia, entre el personal designado para atender los trabajos del archivo, de funcionarios del Cuerpo Facultativo de Archivos, Bibliotecas y Arqueólogos, incorporándose así, de forma temprana en la administración militar, técnicos civiles.

El Decreto establecía la integración del Archivo-Museo en el Museo Naval al que correspondía, a través de su Patronato, su organización y administración. Esta situación permanece vigente en nuestros días, como se recoge en el R. D. 389/1996, de 1 de marzo, del Ministerio de Defensa, por el que se reorganiza el Museo Naval y su Patronato.[9]

El Ministerio de Marina y su preocupación por las obras civiles e hidráulicas

Los primeros Borbones y la política de Patiño sobre construcciones

La instauración de una nueva dinastía, la de los Borbones, a principios del siglo XVIII, traerá cambios institucionales importantes, concediendo a la Marina un lugar destacado entre sus preferencias.

Durante esta época, España desarrolla una importante e intensa actividad diplomática, que tenia que verse apoyada por la fuerza o, mejor dicho, por la amenaza de la fuerza. Esta fuerza venía representada por el Ejército y por la Marina. La idea de que las fuerzas en el mar de Francia y de España fuesen capaces de ser el contrapeso a la supremacía inglesa en el mar es fundamental en nuestra relación internacional. Ello justificó e hizo necesario un importante programa naval que se desarrollo durante toda la centuria. Se intento crear un cuerpo grande, más que un cuerpo fuerte; se identificó el número con la eficacia. Se hizo una política naval de acuerdo con sus necesidades, pero por encima de sus posibilidades.

Su creación y mantenimiento suponen una apuesta tecnológica, una preocupación por mejorar la

construcción de los navíos. El problema no sólo era la construcción, pues, una flota exige su mantenimiento, reparación y puesta a punto de las naves. Para hacerla posible se hicieron imprescindibles unas instalaciones específicas, los diques en seco; importantes obras de ingeniería que necesitaron grandes inversiones. La Marina no se limitaba a estos emplazamientos, supuso una demanda importante de productos manufacturados y tenía las concentraciones «industriales» más importantes de la época: los Arsenales.

Con la llega de Patiño a la Secretaría de Estado, se desarrollo una gran actividad en las distintas parcelas de la Administración, prestando una especial atención a la Marina. Se crean los tres Departamentos Marítimos en 1726; se divide la Armada en tres escuadras, quedando cada una de ellas asignada a un Departamento y desarrolla una profunda actividad constructiva.[10] Su desaparición fue un duro golpe, pues suponía la vacante de casi todas las Secretarias. Esta debilidad del sistema ministerial favoreció el surgimiento de un órgano colegiado encargado de la dirección de la Armada

El 14 de marzo de 1737, al tiempo que regresaba el Ejercito de Italia, se expedía un Real Decreto[11] en el que el Infante Felipe era nombrado Almirante General, con mando supremo sobre las escuadras. Recibía la jurisdicción sobre los asuntos de Marina con el derecho a delegarla «a la persona o personas que os pareciere...». El Almirantazgo desarrollo una gran actividad en esos años, prueba de ello es la Ordenanza de Arsenales de17 de diciembre de 1737.

El Despotismo Ilustrado y el sistema francés de construcciones

Con la llegada del Marqués de la Ensenada a la Secretaria de Estado y Despacho de Marina, el 25 de abril de 1743, se inicia un nuevo sistema de construcción naval. Emprendió una reforma y una actividad de altos vuelos; comienza la construcción de los tres arsenales e introduce un nuevo sistema de construcción, que por su origen fue conocido como inglés.[12]

No sólo se ocupó de la construcción, sino también del mantenimiento y reparación, con lo que la vida de los buques aumento, y de potenciar las industrias necesarias para los aparejos.

Este sistema de construcción perdura hasta 1770, momento en el que se introduce el *Sistema francés*, representado por el ingeniero francés Gautier. Básicamente, la novedad consistió en la construcción de navíos más grandes y con mayor potencia de fuego.[13] Gautier contó con el apoyo de Pedro González de Castejón, inspirador de las medidas más innovadoras del Ministerio de Arriaga: la creación del Cuerpo de Ingenieros de la Armada, desapareciendo el antiguo oficio de constructor y sustitución del Cuerpo del Ministerio por el Cuerpo General.

Otra innovación fue el traslado, a propuesta del Marqués de la Victoria, de todas las instalaciones y centros de dirección y formación de la Armada situados en Cádiz a la Isla de León. Ello dio origen a la Real Orden de 3 de enero de 1775 para la fundación de la ciudad de San Carlos a cargo del ingeniero Ignacio Digneri. Importantes obras correrán a cargo de Julián Sánchez Bort, Francisco Autran, Tomás Muñoz. El asentista del desmonte de la *Nueva Población* es Francisco Cimbrelo. Todas estas obras han generado una amplia documentación, que entre los fondos documentales del archivo, recibe el nombre de *Nuevas Poblaciones*.[14]

En febrero de 1777, llega a la Secretaría de Estado Pedro González Castejón. El sistema de construcción continuó siendo el *francés* y se promulga la Ordenanza de Arsenales de 1776, que supone un claro triunfo del Cuerpo General frente al del Ministerio en la organización de la Armada.

El Sistema de Romero Landa

El Ministerio de Valdés representa la culminación del programa naval del siglo XVIII y el inicio de la nueva política ministerial para el siglo venidero. Los proyectos de Ensenada son hechos realidad. La preocupación por todos los ramos de la Marina continuó, y así la construcción española consiguió en estos años su mayor perfección. Partiendo del sistema *francés*, Romero Landa consigue crear un sistema propio. La preocupación por hacer los barcos más veloces explica que los navíos de este sistema están caracterizados por una gran superficie de velas. Llegaron nuevas máquinas para los astilleros, como sierras, *bombas de fuego*, y prosigue el «espionaje industrial».

El Ministerio de Marina

Pasada la Guerra de la Independencia, la Marina entra en una profunda decadencia, paralizándose los arsenales y descendiendo toda la producción fabril. El Real Decreto de 11 de julio de 1814, por el que se crea una Junta de Marina, pretende poner remedio, en la mejor forma posible, el régimen y sistema militar de la Armada. En noviembre de este mismo año, se establece la Junta Suprema de Estado con la intención de examinar los asuntos graves de todos los ramos de Marina.

Una Real Orden de 11 de junio de 1826 determinó que los Secretarios de Estado y de Despacho Universal, que hasta el momento estaban alojados en el Palacio Real, se trasladasen con sus archivos a la Casa del Almirantazgo.

El Decreto de 23 de febrero de 1848 da nueva planta al Ministerio, establece la *Pagaduría, Intervención de la Pagaduría* y divide los asuntos de la Secretaría en tres grandes Negociados: el primero, Central, que comprendía el régimen interior; el segundo, Militar, que tenía a su cargo los asuntos de Arsenales y sus individuos, cuerpo de Ingenieros o Constructores, y por último, el de *Puertos*, que entendía sobre Comandancias militares, Capitanías de Puertos y Obras y limpia de éstos.

La consolidación del nuevo régimen ministerial tiene lugar con el Real Decreto de 20 de septiembre de 1851, cuando las llamadas Secretarías de Estado y de Despacho adquieren oficialmente el nombre de *Ministerios*. Dos Reales Decretos de 1855 establecerán la nueva planta para la Secretaría del Ministerio, creando la figura del Subsecretario, que a los pocos meses será suprimida, restableciendo nuevamente el cargo de oficial mayor.

Los constante cambios e innovaciones que va sufriendo el Ministerio durante esta segunda mitad del siglo XIX, se van creando una serie de dependencias, llamadas *Secciones* o *Direcciones*, en función de la especialización que requieran los asuntos de marina. Dependencias que a su vez se dividirán en *Negociados*. Estas *Secciones* o *Direcciones*, cambiantes a lo largo del siglo, tendrán como cometido los asuntos de material y personal de cada ramo *(Sección de Personal, Sección de Armamentos, Ingenieros, Marina e Industria de Mar, Artillería, Infantería, Contabilidad* e *Intervención)*. Los asuntos de Arsenales, Construcción y del personal del Cuerpo de Ingeniería recaen en la Sección de Ingenieros.

En los últimos veinte años del siglo, se tiene a la división de la gestión ministerial en tres grandes ramas, procurando distinguir el mando del personal del material, técnica y logística. La *Dirección del Material* englobará, en un principio, varias secciones para dedicarse con exclusividad a los asuntos técnicos e material de Arsenales, Construcción naval,... En general, de «todo lo concerniente al material firme o movible que depende de la Armada y la Maestranza eventual de los Arsenales».

Los fondos documentales

En el Ministerio de Marina habrá un constante interés por adaptar sus infraestructuras a las necesidades del momento, proporcionando las medidas necesarias para conseguir sus objetivos, defender los intereses de la Nación, tanto en la Península como en Ultramar. Incorporará las nuevas técnicas de construcción naval, modificará sus arsenales, puertos..., y para ello contaba con un cuerpo de personal cualificado, los Ingenieros de Marina, que al igual que las construcciones sufrirán profundos cambios de modernización.

La descripción detallada de las secciones, subsecciones y series documentales, que por el momento no están identificadas, del Archivo General de la Marina, desbordaría el espacio y tiempo de esta comunicación; por esta razón nos limitaremos a dar unas notas de carácter general sobre tres secciones en las que con mayor claridad se percibe la problemática de la construcción: *Arsenales, Puertos* e *Ingenieros Militares*.

Se impone sin embargo una aclaración previa. El Archivo está formado principalmente por cuatro grandes fondos de documentación, en todos ellos existen documentos referentes a la problemática constructiva. Nos centraremos en los expedientes generados por la Secretaría de Estado y de Despacho de Marina y por el propio Ministerio que fueron transferidos por el Archivo Central.

Esta documentación, según Ana Mª Vigón, fue clasificada y ordenada en su mayor parte por los archiveros de Marina siguiendo el Nomenclator[15] aprobado en 1885. En general hay que decir que todas las secciones siguiendo este Nomenclator se dividen en tres tipos de asuntos: generalidad, en el que se incluye documentación que aunque puede referirse a un

individuo, su resolución afecta a la totalidad del Cuerpo, dependencia o entidad. Está ordenada cronológicamente. *Asuntos* particulares, contienen los aspectos particulares de la entidad señala, su ordenación es igualmente cronológica. *Asuntos personales*, lo que atañe a un individuo como tal, ordenado alfabéticamente.

Con estas aclaraciones, aunque existen cinco grandes grupos,[16] nos centraremos en estos tres.

Arsenales

La construcción naval militar, hasta principios del siglo XVIII, estaba a cargo de astilleros particulares, como reseña A. María Vigón en su Guía del Archivo, «las armadas se formaban, en principio, por el sistema de embargo y asiento el compra».[17] Fue en época de Patiño, como hemos señalado, cuando comienza la construcción de buques por administración directa; determinándose la fundación de los Reales Arsenales de Ferrol, Cádiz, Cartagena y la Habana. En el aspecto orgánico, era el Cuerpo del Ministerio el encargado de dirigir el funcioanamiento de estos Arsenales. La Ordenanza de 17 de diciembre de 1737 vendrá a desarrollar esta organización, que había sido esbozada en las Ordenanzas del Cuerpo del Ministerio de 1725.

Correspondió al Intendente el mando general y absoluto de los Arsenales; la dirección de las faenas marineras, trabajos de maestranza, inspección de pertrechos estaba a cargo del ramo facultativo, llamado *capitán de Maestranza*, mientras los aspectos económicos corrían a cargo del ministro de Real Hacienda.[18]

En 1772, se introduce una innovación importante en la orientación de la Armada y Arsenales. El Cuerpo del Ministerio da paso al *Cuerpo General*; se crean las *Juntas de Departamento*, presidida por un Capitán General, que tenían plenos poderes sobre la administración, la contabilidad y los trabajos del Arsenal. Cuatro años después, se publicó una nueva *Ordenanza de Arsenales* en la que se crea el empleo de *Inspector General de Marina*, con el mando universal y absoluto de los Arsenales, dando a éstos una organización puramente militar. Paralelamente, la dirección de las obras en construcción correspondió al *Ingeniero General*.

El mando del Arsenal se dividió entre tres Jefes: el *subinspector de pertrechos*, el *ingeniero director* y el *comandante del Arsenal*. El *ingeniero director* tuvo a su cargo la construcción, carena y recorridas de navíos, arboladuras y composiciones de diques y demás obradores del Arsenal, y todas las fábricas de lonas y jarcia, así como la construcción de edificios hidráulicos y civiles en el mismo.[19] Todo el Título XXIV está dedicado a las obras de edificios civiles e hidráulicos, fábricas, talleres y demás obradores.

El *Ingeniero Comandante* tiene como cometido el nombrar a uno de los oficiales de su Cuerpo, que ayudado por un *Ayudante Ingeniero* y dos *Arquitectos*, tendrá a su cargo el desarrollo de las obras, arreglándose a las instrucciones que le comunique el *Ingeniero del Detall*. A su cargo estará la limpia y fondo que haya de hacerse dentro y fuera de la dársena o cañón, a cuyo fin tendrá un plano exacto a donde este señalado muy por menor la sonda en brazos y pies de agua. Dará parte diario por escrito al *Ingeniero del detall* de los trabajos realizados y del material que se pide y emplea, como del número de operarios que han trabajado, para que este pueda remitir a su comandante.

Los títulos XXVII y XXVIII se dedican a la dirección de las obras por asiento o administración. En los proyectos de obras civiles e hidráulicas, como cuarteles, cordelerías, almacenes, tinglados, diques, muelles... el *Ingeniero General* presentará tres planos iguales a la Junta, para que examinados y con su acuerdo y dictamen, se remitan al Secretario de Estado y de Despacho de Marina, al que acompañara su presupuesto ajustado. Una vez aprobado, se remitirán dos al Comandante General del Departamento, para que uno de ellos se deposite en la Secretaría de la Comandancia y el otro al Ingeniero encargado de la obra. Si hubiere alguna innovación o variante en la marcha de la obra, el *Ingeniero Director* debe comunicarla a la Junta parta que proceda a incoar nueva tramitación.

Se establecen, en cada Departamento, seis *Contramaestres de construcción* que, con su *Ayudante* y *Capataz*, se alternaran en los encargos.

El 6 de mayo de 1803, se aprobó una Real Instrucción para el gobierno de los Arsenales y de los gastos de Marina en sus Departamentos, manteniendo la vigencia de la Ordenanza de 1776 para todo aquello que no afectaba a los aspectos económicos.

Se publican nuevas *Ordenanzas de Arsenales* el 15 de julio de 1870, el 7 de mayo de 1886 y el 18 de julio de 1893. La Ordenanza de 1893 fue sustituida por

la de 15 de febrero de 1911, que fue derogada por Decreto de 1966.

La documentación de esta sección está distribuida en los clásicos tres asuntos, generalidad, asuntos particulares y asuntos personales.

Corresponden a Generalidad 56 legajos cuyas fechas extremas son 1738-1922. Hay 271 legajos de Asuntos particulares comprendidos entre 1821 y 1932. Oor último, hay 8 legajos de Asuntos personales.

Entre las series documentales pueden ser de interés los *Libros de registro*, 1784-1828, *Expedientes relativos a diques y maderas*, *Expedientes de las obras realizadas en las Nuevas Poblaciones* (Isla de León, Ferrol). Los planos se encuentran en el Museo Naval[20]

Puertos

A partir del siglo XVIII, a Armada tiene un interés directo sobre el litoral y puertos, por su relación directa con la seguridad de las Fuerzas Navales, así se van erigiendo las Capitanías de puerto en distintos puntos de la Península e Hispanoamérica, dotándolas de instrucciones, bien de aplicación particular o con vocación general.

En las *Ordenanzas Generales de la Armada* de 1793 queda patente la importancia concedida a este organismo, al que dedica el Título VII del Tratado 5º: «Policía general de los puertos y otros cualquier fondeadero a cargo de los Capitanes de Puerto, y de las demás obligaciones de éstos», además de implicar a las autoridades superiores en el buen orden de los puertos.

Entre los cometidos concretos del Capitán de Puerto destaca el levantamiento o revisión del plano del puerto, y la vigilancia contra todo deterioro de los muelles y sus escalas. Se realizarían visitas de inspección del buen cumplimiento de estos preceptos.

Con anterioridad, por Real Orden de 1781, se había dispuesto que las obras de puertos, corrieran a cargo y cuidado de la Marina y se establecían reglas sobre su régimen económico. El oficial o arquitecto encargado, al igual que ocurre en Arsenales, entendería en un todo con la *Junta del Departamento*.[21] Pero a partir de 1832, Marina cede las atribuciones sobre la construcción y conservación de los puertos mercantes a la Secretaría de Fomento, y posteriormente, en 1847, las asume la Secretaria de Estado y de Despacho de Comercio, Instrucción y Obras Públicas.[22] Por tanto, los *Ingenieros de la Armada* son los encargados de las obras civiles e hidráulicas en los puertos hasta que los sustituyen los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Sus funciones se limitan a la parte facultativa, sin embargo pronto se suscitan los roces e interferencias con los Capitanes de Puerto y la cooperación necesaria no se produce tal y como muestran las continuas reales ordenes que tratan de arreglar esta situación. Estos facultativos serán desde el primer momento miembros de los Juntas de Obras que se constituyen en los puertos con la participación de las autoridades locales a las que corresponde sufragar una parte de los gastos ocasionados por las obras. Estas Juntas pasaran a depender de Fomento y posteriormente de Obras Públicas.[23]

La *Ley de Puertos* de 7 de mayo de 1880 viene a reforzar esta trayectoria ya que otorga a Fomento la función de ordenar los estudios y proyectos de toda clase de obras en los puertos de interés general, dictar su aprobación y disponer su ejecución, oído previamente al Ministerio de Marina.[24]

De la misma manera que en las otras secciones reseñadas, en Capitanías de puertos encontramos 12 legajos de Generalidad con unas fechas extremas de 1774-1868. A las propias Capitanías, ordenadas alfabéticamente, corresponden 60 legajos. De Generalidad de Puertos tenemos 6 legajos comprendidos entre 1869 y 1918. Y por último, de Asuntos particulares hay 15 legajos cuyas fechas extremas son 1868-1931.

Entre las series destacamos la existencia de Proyectos de obras, memorias, partes de obras, reconocimientos y expedientes de obras, con planos.

El Cuerpo de Ingenieros de la Armada

La creación de éste cuerpo formó parte de un proyecto de la Armada para asegurarse su autosuficiencia en todos los ramos de la construcción.

En 10 de octubre de 1770 se crea el Cuerpo de Ingenieros de Marina en los Departamentos, hasta ese momento el desarrollo de las obras estaba a cargo de los Ingenieros del Ejército. El Decreto clasifica la plantilla en categorías, equiparándolas con grados del Ejercito: Ingeniero General, Ingeniero Director, In-

genieros Jefes... que se encargarían de todas las obras públicas incluidas las marítimas. Por su parte, la «Ordenanza para el servicio del Cuerpo de Ingenieros de Marina en los Departamentos y a bordo de los navíos de Guerra»,[25] de 13 de agosto de 1772, en su Título VIII regula todo lo relativo a la dirección de la arquitectura naval, civil e hidráulica en astilleros y arsenales. Su artículo 89 establece que toda obra de arquitectura, cordelería, almacenes... debe ser proyectada por el Ingeniero Director. Examinada por el Ingeniero General y remitida a la Secretaría de Estado y Despacho de Marina para su aprobación. Una vez aprobada la obra, el Ingeniero General lo avisara al Ingeniero Comandante para que dé principio la obra. El resto del articulado del Título se centra en las relaciones de cuerpo con los Oficiales, Operarios y Peones de las Obras.

Por otra parte, todo el Titulo IX está dedicado a la dirección de las obras «de edificios civiles e hidráulicos, fabricas, talleres y demás obras», mientras los Títulos XII y XIII se dedican a las direcciones por asiento o administración.

La Real Orden de 1 de septiembre de 1789 aumentó el número de individuos del Cuerpo en sus clases inferiores, que nuevamente se verán aumentadas el 11 de noviembre de 1791, lo que señala la importancia que en aquellas fechas se dio a la construcción naval.

Tras éste inicial período de apogeo el Cuerpo quedará sin funciones prácticas a principios del siglo XIX debido a la rápida decadencia de la Marina y la paralización de los Arsenales. La política restrictiva que en el orden naval tiene lugar desde 1815, llega a su fin con la Real Resolución de 31 de agosto de 1835, que suprime el Cuerpo de Ingenieros de Marina y crea el de Constructores e Hidráulicos. Su Reglamento, de 9 de mayo de 1827, introduce importantes innovaciones en lo referente a Arquitectura naval e hidráulica.[26]

El Cuerpo de Constructores subsiste hasta mayo de 1851 que es asumido en la «escala práctica» del restablecido Cuerpo de Ingenieros.

El 1 de noviembre de 1869 se aprobó el *Reglamento del Cuerpo de Ingenieros de la Armada*, *Escuela* del mismo Cuerpo y *Junta Especial de Construcción,* que fija la plantilla y establece que los prácticos y profesores hidráulicos existentes continúen en las mismas condiciones en que se hallaban hasta su completa extinción. En su artículo 2 venía a determinar las funciones del Cuerpo de Ingenieros de La Armada: preparación de planos y proyectos de construcciones navales... y de la construcción y entretenimiento de las construcciones civiles pertenecientes a la Marina. Posteriormente, detalla los deberes y obligaciones generales de todos los individuos del Cuerpo. El Comandante de Ingenieros de un arsenal es el Jefe inmediato a todos los oficiales.

Establece las funciones de la *Junta Especial de Construcción*: informar al Almirantazgo sobre los proyectos, memorias, presupuestos y planos relativos a la construcción.

En 1885, se cierran las Academias de Ingenieros y Artillería creándose la *Escuela de Ampliación*, que se estableció en San Fernando, con el objetivo de proporcionar a los oficiales del cuerpo General los conocimientos técnicos necesarios para ejercer dentro de la Armada las especialidades de Ingenieros hidrográficos, artilleros y navales. El reglamento de esta Escuela sufrió diversas modificaciones hasta que se aprobó el 2 de junio de 1892.

A esta sección corresponden 5 legajos de Generalidad con fechas extremas de 1784-1901, a los que se puede sumar un legajo exclusivo de reglamentos (1834-1870). A Asuntos particulares corresponden 11 legajos cuyas fechas extremas son 1784-1932. Tenemos 93 legajos de Asuntos personales alfabetizados y por último, 4 legajos de instituciones docentes (Academia y Escuela). Entre las series se encuentran las hojas de servicios, expedientes personales...

Notas

1. Cortés, V.: *Archivos de España y América. Materiales para un manual*. Universidad Complutense. Madrid, 1978, pp. 11-32.
2. Martínez García, L.: «La difusión por la difusión. Algunas reflexiones personales en el campo de la difusión de los archivos», en *Archivos, ciudadanos y cultura*. Anabad Castilla— La Mancha. Toledo, 1999, p. 30.
3. López Gómez, P.: «Normas descriptivas para documentos arquitectónicos: la práctica en España».— En: *Comunicación Reunión del Grupo de Trabajo de los Archivos de Arquitectura del Consejo Internacional de Archivos (CIA/PAR)*, de Washingtón D.C. 2-4 septiembre 1992.
4. Actualmente ha proliferado la bibliografía sobre Archivos de Arquitectura, como los de Mitchell, W.: «Architectural archives in the digital era». *The American Ar-*

chivist. The Society of American Archivist. Chicago. 59, (1996), pp. 200-204; Carrascal i Simón, A.: «Arxius professionals d'arquitectura. Estudi d'una sèrie i la seva tipologia documental: El proyecte de construcció». *LLigall. Revista Catalana d'Arxivistica.* 8 (1994), pp. 113-123; o el RAMP de Hildesheimer, F.: *Le tratement des archives des architectes, étude de cas: La France.* UNESCO. Paris, 1986.— PGI-86/WS/13.

5. Hildesheimer, F.: *op. cit.*p. 2.
6. B.O.E. de 9 de diciembre de 1948, núm. 344.
7. Desde el año 1950 a 1968 el Archivo Central, como los Departamentos de Cádiz, Ferrol y Cartagena, han transferido documentación al nuevo Archivo. En 1974, al encontrarse colasados los depósitos, se acordó remitir en calidad de deposito la documentación posterior a la última Guerra Civil, al Archivo General de la Administración de Alcalá de Henares
8. R.D. 2598/1998, de 4 de diciembre, por el que se aprueba el *Reglamento de Archivos Militares.* B.O.E. 251, de 28 de diciembre de 1998.
9. B.O.E. de 15 de marzo de 1996. En su artículo 8,e. reglamenta que el Área de Administración de Órganos y Museo Periférico de dicho Museo «coordinara y gestionara» las actividades de varios órganos y museos periféricos entre los que se cita el Archivo Museo «Don Álvaro de Bazán».
10. «Si bien esta actividad se realiza principalmente en Guarnizo, Ferrol, Cádiz, Cartagena y la Habana, hay serios intentos por conseguir nuevos emplazamientos como Campache, Tacotalpa..., que se saldrán en fracaso las mas de las veces». Perona Tomás, D.: *Los orígenes del Ministerio de Marina : La Secretaría de Estado y del Despacho de Marina. 1714-1808.* Ministerio de Defensa: Instituto de Historia y Cultura Naval. Madrid, 1998, p. 106.
11. AHN Estado leg. 5002
12. «... Dio una nueva existencia a la Marina e hizo... los diques de Cartagena, los primeros que se han construido en el Mediterráneo, donde no hay mareas, y los construyó también en el Ferrol, haciendo de planta de uno y otro arsenal, que son de los mejores de Europa. Hizo venir constructores ingleses...». Conde De Fernán Núñez. *Vida de Carlos III.* Ed. de A. Morel-Fati y A. Paz y Meliá, Madrid, 1988. Tomo I, pp. 247-258
13. Guardia, R.: *Datos para un Cronicón de la Marina Militar de España.* Madrid, 1921.
14. Archivo General de la Marina. Arsenales Leg. 3789, 3812, 3825, 3826.
15. Según la Real Orden de 7 de enero de 1885, Cuadro signótico de la clasificación general del Archivo de Marina.
16. Se encuentran documentos que puieden constituir fuente primaria para la investigación de la historia de la construcción fundamentalmente en las secciones de *Cuerpos Patentados, Maestranza, Arsenales, Presidios* y *Capitanías de Puerto.*
17. Vigón, A. M.: *Guía del Archivo Museo* «D. Alvaro de Bazán». Instituto de Historia y Cultua Naval, Viso del Marqués, 1985. p. 301.
18. Las Ordenanzas Generales de la Armada de 1748 pusieron bajo la dependencia de los individuos del Cuerpo del Ministerio todos los asuntos que no eran de origen estrictamente militar: arsenales, parques de artillería, almacenes, maestranzas...
19. TÍtulo XXIII. De las obras de construcción, carenas, edificios, métodos se seguirlas, admisión de maestranza y como deben emplearse en sus trabajos (art. 565 a 627)
20. MARTÍN_MERÁS, L. y RIVERA, B.: *Catálogo de cartografía histórica de España del Museo Naval.* Museo Naval— Ministerio de Defensa, Madrid, 1990
21. Real Cédula de Su Majestad y señores del Consejo, de 26 de enero de 1786, por la qual se establece la economía e intervención que debe observarse en las obras de los puertos marítimos, que se construyen a costa de los arbitrios o caudales públicos en la forma que se expresa. AGMAB Leg. 2683. 3.
22. Real Decreto de 5 de febrero de 1847, de Presidencia del Consejo de Ministros, designando las atribucions y ramos que abraza el Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras públicas.
23. Instrucciones de 21 de septiembre de 1875 y de 30 de noviembre de 1875, paa la inspección y vigilancia de las obras de puertos que se hallan a cargo de Juntas (AGMAB Leg. 5616). Real Decreto de Fomento, de 23 de marzo de 1888 sobre reorganización de las Juntas de obras de los puertos.. Reglamento general, de 7 de agosto de 1898, para la organización y régimen de las Juntas de obras de puertos. Real Decreto de Agricultura, Industria y Comercio, de 17 de julio de 1903, sobre aprobación del Reglamento general para el régimen y otganización de las Juntas de obras de puerto.
24. Reglamento para la ejecución de Ley de Puertos de 7 de mayo de 1880.
25. Ordenanza de S. M. para el servicio del Cuierpo de Ingenieros de Marina en los Departamentos, y a bordo de los navios de Guerra. Madrid, 1772.
26. AGMAB Leg. 3412.

Bóvedas de cañón construidas con tufo de las viviendas arequipeñas

Rosa Bustamante Montoro

La evolución del sistema constructivo se aprecia en el monasterio de Santa Catalina de Sena que fuera fundado durante el Virreinato del Perú en 1579, poco después de ser trazada la ciudad. Armaduras de par y nudillo que antecedieron al uso masivo de las bóvedas de cañón, arcos codales en las calles interiores, gruesos machones de los claustros cubiertos con bóvedas de arista, cúpula de media naranja en el crucero de la iglesia, lucernarios de alabastro, y muros pintados en almagre, amarillo y añil como los de la ciudad colonial.

Sin embargo, finalizado el Virreinato en el primer cuarto del siglo XIX se continuó con la construcción de casas abovedadas, hasta que el terremoto de 1868 originó el reemplazo de las cubiertas destruidas por forjados horizontales hechos con sillares de tufo y vigas metálicas doble «T». Después de los terremotos de 1958 y 1960 se restauraron los inmuebles más significativos que conservan las características y los tipos de bóvedas más usados. La adopción del mismo tipo de cubierta tanto para las iglesias como para las viviendas, se justifica desde la perspectiva del aprovechamiento del material que existía en abundancia y de una tradición constructiva prehispánica, con mayor presencia de canteros que de carpinteros de armar. No se puede dejar de mencionar que dentro del barroco iberoamericano, la arquitectura arequipeña aporta la decoración «textilográfica» de las portadas de sus templos y casas señoriales.

El material de cantería: ligero y blando

Es un tufo volcánico compacto compuesto por silicatos dobles de alúmina y potasio, óxido de hierro, con trazas de titanio, manganeso, magnesio y sodio. Más conocido como «sillar» en clara alusión al material cortado para levantar los muros, tiene un grado de dureza de 4 en la escala de Mohs, que permite su fácil tallado, una resistencia a la compresión de 8 MPa y a la tracción de 0.5 MPa y es de color blanco, pero también existe en amarillo y rosa.

Los canteros trabajan a cielo abierto, y para cortar los mantos de piedra usan dinamita para desprender grandes bloques, o bien, van cortando la piedra poco a poco, haciendo un hoyo relleno de guano sobre el que introducen una estaca que golpean hasta que la piedra se fisure en un corte recto. Posteriormente cortan estos bloques grandes en sillares de acuerdo a las «tareas» (200 piezas) solicitadas.

Con el paso de los siglos en el área central de la cantera, entre las dos murallas de lava, se acumulan las rajas del tallaje, las sendas que van formando los coches que recogen las «tareas», y las falsas bóvedas que construyen los canteros para descansar, utilizando sillares y escorias, unos palos para sostener los sillares que cierran la parte superior y un sillar más grande para el dintel de una pequeña puerta.

Las dimensiones de los sillares han ido cambiando con el tiempo, pues los muros coloniales se construyeron con mampuestos de 40 cm × 40 cm × 20 cm, medidas derivadas de la vara castellana, (| xΩx...

vara). Se aparejaban colocando un sillar a sardinel cada dos o tres sillares unidos por su canto, Estas medidas varían posteriormente, ya no son cuadrados, sino rectangulares de 40 cm × 30 cm × 20 cm, y más largos de 60 cm × 30 cm × 20 cm, medidas éstas últimas derivadas de una métrica personal del cantero, y que se usan en muros de soga y de canto de las viviendas populares. En la segunda mitad del siglo XX el material empieza a cortarse a máquina en húmedo, para producir piezas de 15 cm × 25 cm × 2 cm, de revestimiento de muros en un mismo color o en ajedrezados blanco y rosa.

La casa arequipeña

La casa arequipeña de los siglos XVIII y XIX está configurada por una crujía de habitaciones abovedadas alrededor de un patio, construida en una planta. Son singulares las casas señoriales coloniales, mientras que se repiten algunas plantas en las casas postcoloniales. La asimetría respecto a un eje longitudinal es constante en todas ellas.

Por otro lado, la variedad de plantas, algunas de las cuales se citan a continuación, radica en que incide en que las luces de las bóvedas sean más grandes o más pequeñas y cómo se van contrarrestando los empujes de las bóvedas:

- Casa con zagüan, patio central y chiflón (zagüan angosto secundario), a la derecha o a la izquierda del solar (figura 1a);
- Casa con zagüan, patio y chiflón, que carece de la crujía de habitaciones en uno de los costados del primer patio, llamada también «media casa (figura 1b);
- Casa con zagüan, y habitación encima del chiflón;
- Casa con patio y chiflón, sin zagüan de ingreso, (figura 1c);
- Casa con arquería en segundo patio (y tercero si lo tiene)
- Casa con dos plantas de habitaciones abovedadas (por la pendiente del suelo);
- «Tambos» (alojamientos públicos) con habitaciones pequeñas alrededor de un patio grande.

La casa señorial colonial tiene hasta tres patios, con una galería en el segundo y una arquería llamada

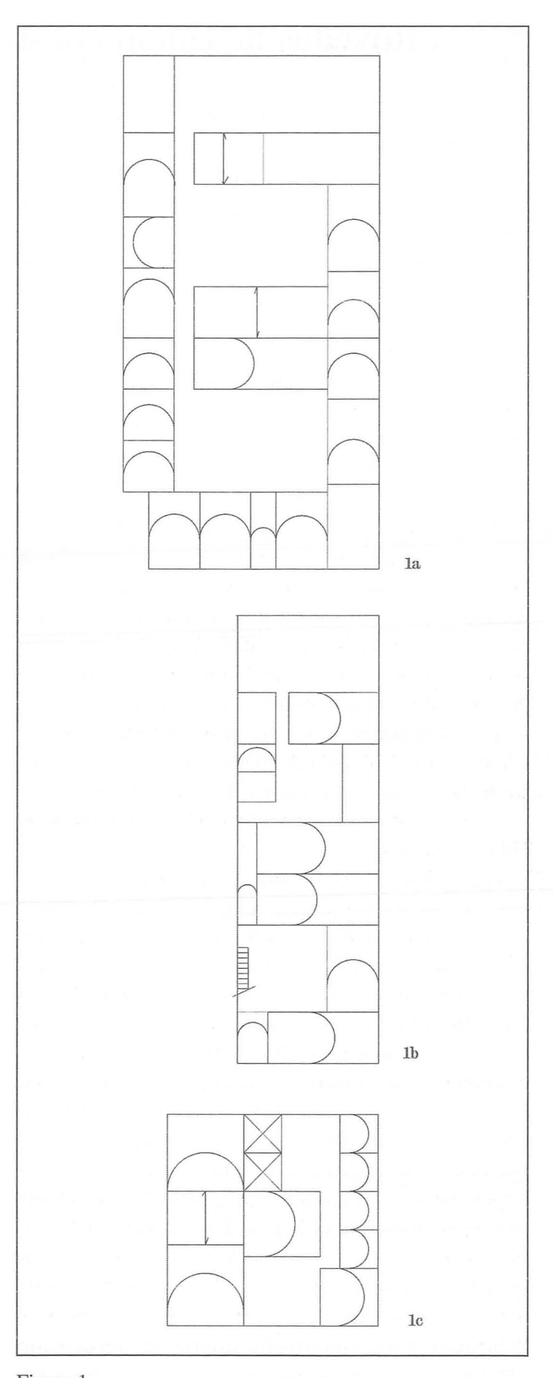


Figura 1
Plantas esquemáticas de casas cubiertas con bóvedas de cañón

cenador en el tercero, construida en uno de los lados y que era un lugar para comer o cenar; en la parte posterior se encontraban la caballeriza y el huerto. En las casas del XIX se siguió manteniendo este mismo patrón a menor escala, construyendo las habitaciones principales alrededor del primer patio. En un buen número de éstas la fecha que aparece en la portada es anterior al terremoto de 1868 que destruyó la ciudad, por lo que tuvieron que haber sido reconstruidas si no totalmente por lo menos en parte, lo que se demuestra en los forjados planos de algunas habitaciones.

Una de las diferencias entre las casas de un patio y de dos patio, radica en que las primeras carecen de esta arquería o cenador, cubierto exclusivamente con bóvedas de arista, las mismas de los claustros religiosos. Por consiguiente, las casas de un solo patio están techadas con bóvedas de cañón solamente.

Se pueden citar ejemplos de dos plantas abovedadas, como la Casa de la Moneda, con locales en la planta baja de uno de los costados de la casa, y el Tambo de Bronce, con locales también abovedados en la planta superior que coincide con el nivel de la calle. Dado el temor por los terremotos, la casa postcolonial tiene una planta superior, liviana, y salvo algunos ejemplos se incluyó una habitación abovedada, que no aumentaba los empujes sobre el muro de fachada.

Estudio aparte merece la decoración de las fachadas barrocas del XVIII con frontones curvos tallados y las del XIX de influencia neoclásica e ilustrada, portadas con pilastras de soporte a un entablamento alto, dividido en dos partes, con una cornisa independiente y por debajo de la cornisa de la fachada. Entre estos dos tipos de viviendas fácilmente identificables, existe un tipo de casa de transición de gran austeridad en las fachadas, algunas con símbolos cristianos (IHS), tallados en el entablamento de la portada.

El sistema constructivo

Según Ramón Gutiérrez «en la conjunción, la piedra sillar llevó a una respuesta arquitectónica rígida, basada en el concepto de masas arriostradas para resistir los sismos. La propuesta estática requirió ámbitos reducidos, anchos muros con contrafuertes, desarrollo de las técnicas constructivas de las bóvedas de sillar y cúpulas chatas en los templos. El conjunto produce sensación de fuerza, aún más por la carencia de remates y pretiles en sus muros, los robustos bota-aguas y los vanos reforzados con doble dintel».

Aunque existen ejemplos de bóvedas vaídas, como la de la Casa del Colegio de Arquitectos, de ladrillo y con nervios, se impuso la construcción masiva de las bóvedas de cañón por su menor complejidad pues su estereotomía es bastante sencilla. Sus características son las siguientes:

a) Son bóvedas aparejadas con dovelas de 20 cm de espesor, cuadradas o rectangulares, colocadas a tabla (posición horizontal), pero en algunas bóvedas las claves están colocadas a rosca (posición vertical), que incide en un número menor de piezas para formar el arco, y que se traduce en la disminución del coeficiente de seguridad a la mitad al reducirse el grosor de la bóveda;
b) En el tallaje evidentemente no era necesario recurrir al método por robos, que hubiera significado la preparación de patrones y desperdicio de material, sino el de corte por caras, usando el baibel o escuadra de dos brazos.
c) El aparejo es el mismo que el usado en los muros, es decir, cada dos dovelas juntas colocadas a tabla se apareja una dovela colocada a rosca;
d) Las bóvedas de cañón son de sección semicircular de relación flecha/luz=1/2, pero esta flecha se reduce un poco tal vez con la intención de ahorrar material;
e) Las bóvedas de arista nacen de unas pechinas exentas hacia el lado del muro ciego y del otro lado, de los gruesos machones que forman la arquería, pero da la impresión de ser una bóveda de cañón con lunetos pronunciados, pues las claves se tallan y se aparejan como en ésta, impidiendo que las aristas se crucen;
f) El contrarresto de los empujes se realiza solamente mediante los gruesos muros, de doble pared con un núcleo de hormigón de cal, arena y piedra de río, que varían de 0.90 a 1.20 m de sección. Se recurre a los contrafuertes en la arquitectura religiosa, edificaciones rurales exentas, y ejemplos aislados (casa en esquina calle Villalba). El uso de tirantes de hierro aparece posteriormente en las restauraciones de algunas bóvedas;
g) Para contrarrestar mejor los empujes se rellenan los riñones de las bóvedas. En las casas postcoloniales los muros se elevaron hasta el mismo nivel del extradós, y remataban en una cornisa pronunciada;

h) El relleno se realiza con tierra y sobre el extradós se asienta una capa con hormigón de cal y arena de un espesor de 5 a 10 cm que forma una masa monolítica con las dovelas y contribuye a aumentar su grosor;
i) La construcción de bóvedas y contrabóvedas como se aprecia en las plantas, incide en el contrarresto mutuo de los empujes además con las propiedades vecinas, con las que no existen espacios de separación ni muros medianeros mayoritariamente; y,
j) Según el tipo de función que cumplen, adquieren atributos que las diferencian, como se explica a continuación.

Tipos de bóvedas

Bóvedas de los zagüanes

La bóveda del zaguán de ingreso es de cañón de sección semicircular, perpendicular a la calle, de menor luz que las de las habitaciones, y más bajo cuando se construye encima una habitación. Tiene un dintel recto en fachada, y un arco fajón hacia el patio que algunas veces está cerrado con una cancela. Detrás del portón y debajo de la bóveda existe un arco a veces exageradamente ancho que aloja las quicialeras (figura 2, en bóveda decorada del XIX).

Carece de cornisa en los arranques, y a veces contiene varios peldaños por el desnivel del patio respecto a la calle. Su longitud es igual al ancho de la crujías adyacentes, pero existen también zagüanes más largos y angostos como el ingreso al tambo de Bronce, cuyo arco de la bóveda de cañón está hecho con once dovelas para una luz de 2 m, con una capa de hormigón de pequeño espesor. En bóvedas anchas y largas existen arcos fajones a la mitad que arrancan de unas ménsulas con poco vuelo a la altura de los estribos de la bóveda (figura 3, Tambo de Ruelas).

Bóvedas de las habitaciones

Las bóvedas de cañón de las habitaciones principales arrancan desde la cornisa situada en los arranques (figura 4), y su flecha es menor que la mitad de la luz. Por ejemplo, 1.75 m de flecha para una habitación de 7.50 m de largo por 4.20 de luz; con dieciocho dovelas formando el arco, cada una de ellas de 33 cm en el intradós y 37 cm en el extradós aproximadamente. Aparte del ahorro de material, este número par indica la falta de claves en el aparejo, además de no ser iguales en todas las bóvedas, claves más angostas, más anchas o de tamaño similar que el resto de dovelas. También se construyeron



Figura 2
Bóveda pintada de zagüán de ingreso

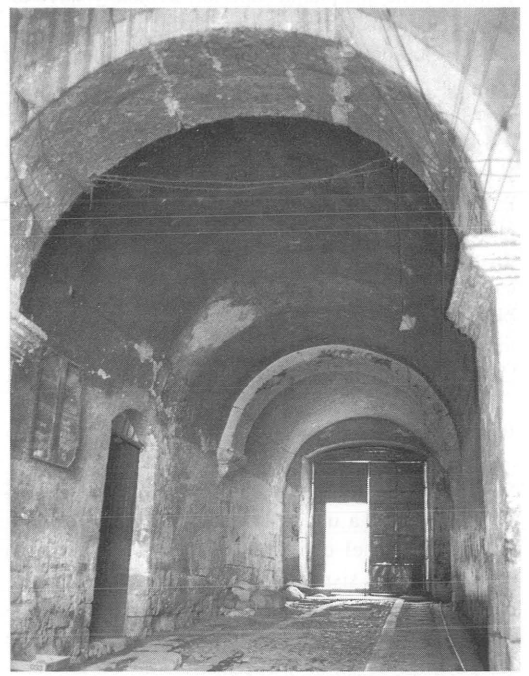


Figura 3
Bóveda de zagüán con arco fajón sobre mánsula



Figura 4
Bóvedade cañón de tufo arequipeño

bóvedas de ladrillo o bien, combinando la piedra y ladrillo a rosca en su tercio central (figura 5). Las puertas son de dintel recto hacia un lado y curvo hacia el otro, ventanas pequeñas y hornacinas abiertas en los muros cuyos arcos tienen una flecha de 1/6 de la luz.

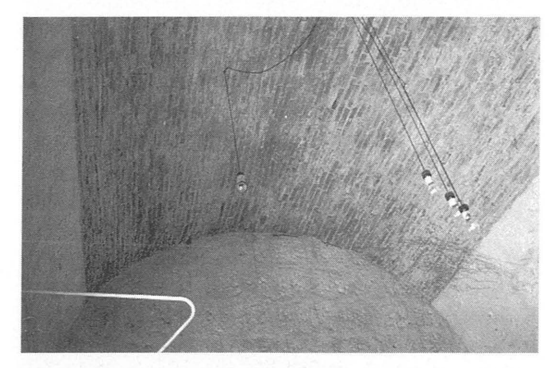


Figura 5
Bóvedade cañón con ladrillo en su tercio central

La presencia de lucernarios en las bóvedas es más común en las iglesias, pues las habitaciones se iluminan a través de las puertas y ventanas que dan al patio o a la fachada. La altura promedio de 4.50 m a 5.00 m permite abrir unas ventanas en la parte superior de los testeros. Un ejemplo ilustrativo es la crujía de siete locales (C/San Agustín) con bóvedas de cañón perpendiculares a la calle, puerta y ventana abocinada en fachada.

Bóvedas de los chiflones

Estas bóvedas de cañón son angostas, menos de 2.00 m de luz, altas si mantienen la misma altura que las demás habitaciones, (figura 6, de la casa del Moral) y largas cuando están al costado de dos crujías de habitaciones; pueden tener desde cinco dovelas a tabla formando el arco de la misma y existen algunos ejemplos con lucernarios en las claves.

La habitación también abovedada construida encima del chiflón de menor altura es de menor importancia que el resto de las habitaciones (figura 7, Casa Rey de Castro), y es una característica que también tienen las casas postcoloniales, pero podrían pertenecer al núcleo más antiguo. Su importancia radica en los cambios que origina su presencia: testero curvo que rompe el nivel de cornisa, pequeña ventana hacia un patio y escalera, a veces exclusivamente para ésta, hacia el otro patio.

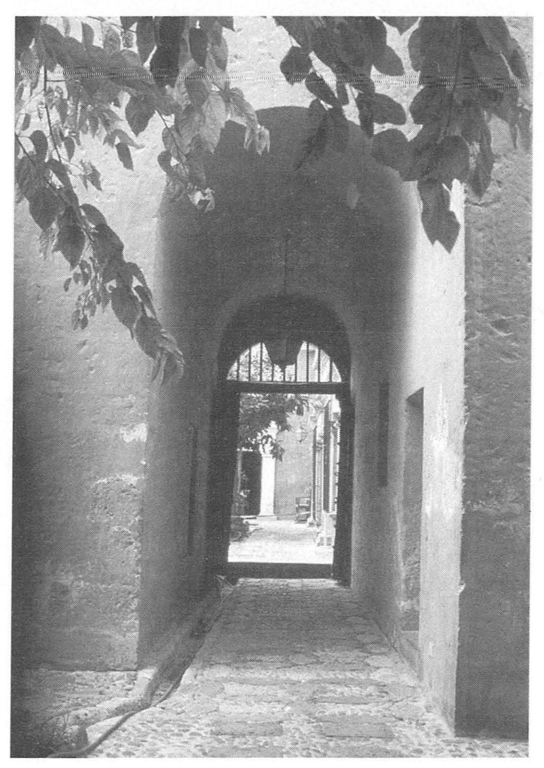


Figura 6
Bóvedade chiflón (Casa del Moral)



Figura 7
Habitación encima de chiflón

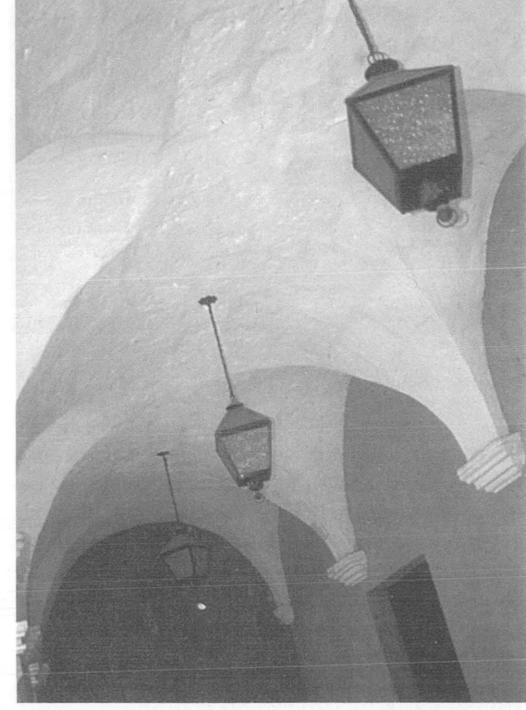


Figura 8
Bóvedas de aristas de galería

Bóvedas de arista de las arquerías

Como se ha mencionado antes las bóvedas de arista no se unen en el centro pues las claves se aparejan a todo lo largo de la misma. En algunos claustros religiosos existen bóvedas de arista con ladrillos a rosca pero con las pechinas de tufo, y se manifiesta el mismo detalle constructivo. Aunque todas son de una planta existe un cenador con otra arquería en la planta superior (Casa del Alférez Florez), pero la presencia de una cornisa indica que no existió otra bóveda de arista encima.

El hecho que del lado del muro de carga las pechinas arranquen de unas ménsulas de poco vuelo (figura 8, Casa del Moral), y del otro lado de los machones de la galería, se justifica en un intento de acortar la luz, y podría ser que el adelantamiento progresivo de las piezas para formar el vuelo de las pechinas tenga su origen en las falsas bóvedas prehispánicas (A. San Cristóbal: 1997), pero la *cola* (pechina de ladrillo) es un recurso constructivo similar también usado en las bóvedas extremeñas (Fortea: 1998).

Otro detalle es que si existe una galería y un cenador, los machones tienen diferentes fustes, cuadrados

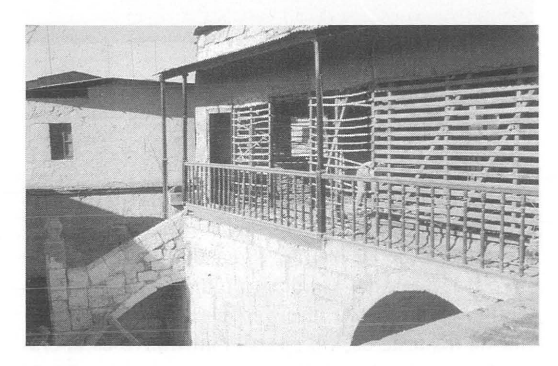


Figura 9
Remate escalonado de los muros de carga y galería en segundo patio

ligeramente chaflanadas las esquinas (figura 9), y con fustes circulares (cenador Casa Tristán del Pozo).

Bóveda de arco por tranquil de escaleras

Sobre estos arcos se levantan las escaleras con peldaños también de piedra, y que se aprecian en las casas que tienen la habitación encima del chiflón o con una planta superior (figura 10). Siendo las más conocidas las escaleras de los molinos por no estar apoyadas en los costados.

Para evitar la construcción de un arco por tranquil alto y menos estable, se levantaron las escaleras en dos tramos, en «L», de tal manera que el primero apoya sobre macizos y el segundo tramo sobre la bóveda que se apareja para formar el intradós con dovelas a tabla y a rosca.

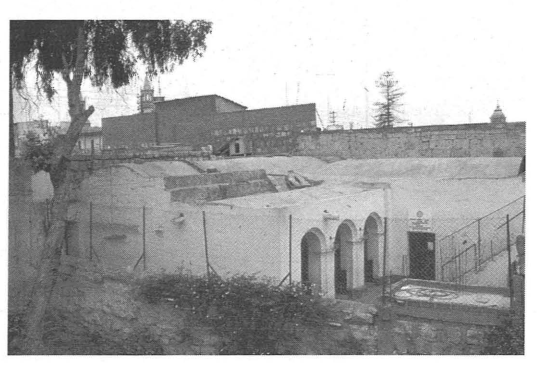


Figura 10
Arco por tranquil de escalera y entramado

Las bóvedas como única cubierta

Sobre el extradós de las bóvedas no se construyeron tejados, ni siquiera en las iglesias, aunque uno de los pocos ejemplos atípicos y expresión de la arquitectura popular, es la colocación de haces de paja «ichu» en la iglesia de San Pedro de Tisco (Valle del Colca, a 4.000 m.s.n.m.), encima de lajas planas sobre el extradós de la bóveda de cañón, que están asentadas con barro y van formando un hastial.

Por lo tanto la carga de hormigón normalmente está fisurada debido a los cambios térmicos, al carecer los paños bastante largos de juntas de dilatación, pero se ha incorporado en su acabado el ladrillo «pastelero», de 20 cm de lado y 3 cm de espesor, asentado con mortero cemento-arena, generalmente después de haberlas reforzada con un mallazo para aumentar su resistencia a los movimientos sísmicos.

Remate escalonado o cornisas

Como se ha mencionado anteriormente al rellenarse los riñones se elevaron los muros, terminando éstos en forma escalonada (figura 9), uno de los detalles de la arquitectura local, que también se aprecia en las iglesias y en los contrafuertes con remates escalonados, a diferencia de las casas cuyas cornisas impiden la percepción de las bóvedas. Sin embargo, existen ejemplos que dejan ver los testeros, como el conjunto de cuatro casas con frente a la plazuela San Francisco, pues cada una de ellas es una bóveda de cañón perpendicular a la calle.

Aunque los muros carezcan de cornisas este recrecido facilita la conducción de las aguas pluviales a las gárgolas y bajantes por la superficie ondulada que se forma entre la bóveda y el muro (figura 11).

Aprovechando el grosor del muro y el vuelo de pronunciadas cornisas, se levantaron los balcones largos que caracterizan a la etapa de la naciente República. Para no sobrecargar las bóvedas, la planta superior se construyó con cerramientos a soga, con entramados de madera rellenos con rajas de sillar; y cubiertas de chapa galvanizada. La mayoría de estos entramados han ido desapareciendo para dar paso a nuevas construcciones.

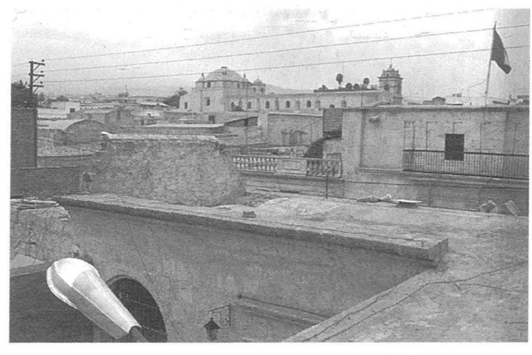


Figura 11
Cornisa hasta la altura del extradós de la bóveda

Conclusiones

Las bóvedas de cañón y de arista de las casas arequipeñas son invariantes de la arquitectura local, que se trasvasan de la arquitectura religiosa adaptándose a los diferentes tipos de plantas de la arquitectura doméstica, y cuya construcción continuó aún después de terminada la etapa colonial. El sistema constructivo de las bóvedas se caracteriza por su irregular espesor al haber sido aparejadas las dovelas a tabla con dovelas intercaladas a rosca, por lo que la carga de hormigón sobre el extradós contribuye a regularizar su grosor. Otros atributos constituyen el color blanco del tufo, la estereotomía vista y que se percibe aún debajo de las que están encaladas, y los muros de carga elevados hasta el nivel del extradós de las bóvedas.

Bibliografía

A.A.V.V.: *Las grandes bóvedas hispanas*, apuntes del curso, CEHOPU, Madrid 1998.

A.A.V.V.: *Arquitectura Popular en España*, Coordinación y edición: A. Cea Gutiérrez, M. Fernández Montes, L.A. Sánchez Gómez, Actas de las Jornadas 1-5 diciembre, 1987, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1990.

Bonet Correa, A.: «El Convento de Santa Catalina de Arequipa y la arquitectura de los conventos de monjas en Hispanoamérica», Simposio Internazionale sul barocco latino Americano, organizado por el Istituto Italo-Latinoamericano, bajo el auspicio de la UNESCO, Roma 21-24 abril 1980.

Bustamante, R.: «Characteristics of the authenticity and sustainability in the preservation of tuff masonry», *Comunicaciones del 12º Congreso Internacional de Fábricas de Ladrillo y Bloque*, Madrid 2000.

Chueca Goytia, F.: *Historia de la Arquitectura Occidental* Tomo VIII Barroco en Hispanoamérica, Portugal y Brasil, Dossat, pp 177-155, Madrid 1985.

Feduchi, L.: *Itinerarios de Arquitectura Popular Española, 4 los pueblos blancos*. Ed. Blume, Barcelona, 1978.

Fortea Luna, M. y López Bernal, V.: *Bóvedas Extremeñas*. Ed. Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura. Badajoz, 1998.

García Bryce, J.: *Casa Tristán del Pozo, Arequipa.* , Ed. Banco Continental del Perú, s/f.

Gutiérrez, R.: *Evolución histórica urbana de Arequipa (1540-1990)*. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la Universidad Nacional de Ingeniería, Epígrafe Editores S.A., Lima 1992.

Málaga, A.: «La arquitectura mestiza arequipeña: de la ermita a la basílica catedral», Revista *Plaza Mayor*, Nº 9, julio-agosto, 1983.

Orellana, J., «Lo indígena y lo español en la construcción colonial», *Consensus*, Año 3 Nº 3, Lima, 1994.

Palacio Gonzalo, J.C.: *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*. Ministerio de Cultura, 1ª ed. Madrid, 1990.

Quiroz Paz Soldán, E.: «La arquitectura mestiza arequipeña: del rancho de paja al palacio de sillar», Revista *Plaza Mayor*, Nº 9, julio-agosto, 1983.

Rodríguez Gaitán, G.: «El sillar, material arequipeño», *La Casa Goyeneche*, Ed. Banco Central de Reserva del Perú, Sucursal de Arequipa, pp. 37 a 41, Lima, 1986.

San Cristóbal Sebastián, A.: *Arquitectura planiforme y textilográfica virreinal de Arequipa*. Ed. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú, 1997.

Tord, L.: *Arequipa Artística y Monumental*, Ed. Banco del Sur del Perú, Arequipa-Perú, 1987.

Posibilidades de la Arqueología de la Arquitectura. A propósito del estudio de la primera arquitectura abovedada altomedieval de la Península Ibérica

Luis Caballero Zoreda

La arquitectura altomedieval hispánica ofrece buen número de edificios de importancia, esencialmente religiosos, que han centrado líneas de investigación desarrolladas durante más de un siglo procurando fecharlos y comprender la secuencia de su desarrollo histórico. Para ello se han utilizado modelos de análisis procedentes de la Historia del Arte y de la Arquitectura, básicamente influidos por modelos previos historiográficos y por métodos filológicos (fuentes escritas) y estilísticos. Ello dió lugar a una explicación de esta arquitectura que, después de las primeras indecisiones, se acepta hoy como definitiva. La *arquitectura paleocristiana*, caracterizada por plantas basilicales con armaduras, a través de modelos *de transición*, daría lugar a la *visigoda o de época visigoda*, tendente a la planta centrada, con aparejo de sillería, abovedada y decorada con escultura; y ésta, a su vez, a la *asturiana* de aparejo de mampostería, bóvedas de ladrillo y decorada con escultura y pintura. La ruptura de esta secuencia gradualista vendría con la llamada *arquitectura mozárabe*, que introduciría el influjo islámico aportado por grupos de mozárabes huidos de al Andalus y asentados en la frontera cristiana del Duero a partir del s. X, con tipologías variadas, abovedados o con armadura, con el fósil director de sus capiteles y, en ocasiones, con escultura decorativa.

A pesar de su aceptación generalizada, este modelo continuista presenta suficientes contradicciones como para que se haya planteado su revisión (Real 1995; Caballero 1994-95). Pese al intento de definir un grupo intermedio «de transición» (Palol 1967) y a la búsqueda afanosa de paralelos foráneos (Schlunk y Hauschild 1978), existe un salto difícil de explicar entre los sistemas constructivos tardorromanos y los visigodos y asturianos a nivel de aparejo, formas, estructuras y decoraciones. Históricamente, este salto se justifica aprovechando la crisis de la invasión islámica a comienzos del s. VIII que permitiría, a su vez, explicar la similitud existente entre el arte visigodo y el asturiano. Pero esta relación se entendería mejor si invirtiéramos el sentido de la evolución hoy considerada canónica, esto es, considerando precedentes las manifestaciones asturianas y consecuentes, *de Reconquista*, las hoy denominadas visigodas. De este modo se rellenaría el vacío de la activa producción arquitectónica que citan los documentos de este momento y que no puede explicar solo la tardía edilicia mozárabe que, además, presenta una difícil relación directa con lo *andalusí* y, al contrario, una compleja red de relaciones indirectas con lo andalusí y lo llamado visigodo y asturiano.

La toma de conciencia de estas contradicciones, de las que ya se hicieron eco algunas propuestas distintas al modelo consensuado (Puig i Cadafalch 1961; Camón 1963), y especialmente la ordenación alternativa de paralelos formales y estilísticos y el análisis de su relación con las fórmulas constructivas y escultóricas omeyas, me ha permitido plantear un modelo explicativo distinto, «catastrofista», que intenta resolverlas. Éste supone que el sistema conocido como arquitectura visigoda es en realidad una consecuencia de la im-

plantación del estado andalusí en nuestro suelo, que aportaría con sus fórmulas arquitectónicas procedentes del arte *omeya* sirio una mezcla de influjos romanos orientales, bizantinos y sasánidas principalmente.

Frente a la teoría tradicional, este modelo propone una clara ruptura entre nuestro arte tardorromano —paleocristiano— y el alto medieval o prerrománico. En época visigoda, la arquitectura dependería de fórmulas evolucionadas sobre las que incidirían, sin duda, influjos mediterráneos que aún darían lugar a magníficas basílicas como la de Sta. Eulalia de Mérida (Mateos 1999) o la de la ciudad de Recópolis. Pero las nuevas fórmulas son aportación del arte omeya, especialmente el abovedamiento en sillería, la talla de los sillares, o la recuperación de la escultura decorativa y el ladrillo. Habría que considerar los edificios llamados «visigodos», unos como específicamente *andalusíes* o muladíes, —palacios emirales de Mérida (Alba 1997) y Pla de Nadal (Valencia, Juan y Pastor 1989)-; otros *mozárabes* fechados hacia el 800 —manifestación de comunidades cristianas bajo dominio islámico, como El Trampal (Cáceres, Caballero y Sáez 1999) y Melque (Toledo, Caballero y Latorre 1980)-; y otros *de Reconquista*, relacionados con el arte asturiano y fechados hacia el 900 —Bande (Orense, Caballero 1991), la Nave (Zamora, Caballero y Arce 1997) o el grupo riojano-burgalés (Caballero 1999)—. Parecidas técnicas y fórmulas fueron asumidas por grupos sociales muy diferentes, la sociedad fiscal islámica andalusí; la sometida sociedad cristiana mozárabe; o las clases aristocrática y eclesiástica de la naciente sociedad feudal cristiana. El nuevo modelo explicativo no soluciona todas las contradicciones del hoy consensuado; al contrario, su evidencia de problemas irresolutos suponen para él, a la vez, nuevas contradicciones, como las fechas arqueológicas de la llamada cárcel de S. Vicente de Valencia (Soriano 1995) y del palacio episcopal de Barcelona (Bonnet y Beltrán de Heredia 1999), o la datación de la de Baños (Palencia) en 652 o 661 por la inscripción dedicatoria del rey Recesvinto (Caballero y Feijoo 1998). Es posible que algunos de estos edificios, aunque pertenecientes formalmente al grupo «prerrománico», se adelantaran a su momento histórico, tras la crisis del s. VII que supuso la consiguiente expansión islámica con la implantación de nuevas condiciones sociales y la consecuente oportunidad para un nuevo y revolucionario sistema constructivo.

La brevedad del texto impide desarrollar los argumentos y los caracteres de nuestro nuevo modelo explicativo, a pesar de la estrecha relación que tiene con el tema del Congreso. Por ello solo me voy a referir a su aspecto metodológico y a su capacidad heurística. La demostración de un nuevo modelo explicativo, y más si ello conlleva la refutación (no exactamente el rechazo) de otro previo, necesita la construcción de una metodología adecuada al objetivo que se pretende alcanzar. El empleo de la misma metodología usada para la construcción del modelo tradicional supone jugar con unas limitaciones que posiblemente sea imposible superar. Solo con la puesta en marcha de una metodología adecuada a los problemas planteados se puede proponer un nuevo paradigma. Por ello, tras la proposición del modelo siguiendo la metodología empleada en el planteamiento tradicional, procuré utilizar un nuevo instrumento analítico dotado de una mayor capacidad y rigor (no objetividad como en ocasiones se dice equivocadamente) a la hora del análisis y de la obtención de datos. Este método es la llamada *Arqueología de la Arquitectura*, la aplicación de la metodología arqueológica al análisis del resto material que es el edificio histórico construido. No podemos decir que esta metodología halla resuelto el problema del cambio de datación de esta arquitectura, pues esta resolución supone algo más que la mera consecución de nuevos datos, como su modelización y explicación histórica. No pretendo demostrar, por tanto, la exactitud o la incorrección de uno u otro modelo, sino sólo la capacidad heurística del método arqueológico aplicado al estudio de la arquitectura. Igual que se afirma de la Arqueología, la Arqueología de la Arquitectura (Caballero y Escribano 1996) posee tres estrategias o líneas de actuación principales: —la estratigráfica, para la que hoy se utiliza el denominado método Harris (1991) de lectura y documentación estratigráfica, que distingue las distintas unidades de construcción y destrucción efectuadas a lo largo de su vida en el edificio y que determinan su aspecto actual, que ofrece una secuencia cronológica relativa sometida a los principios estratigráficos; —la tipológica que agrupa los elementos constructivos según sus distintos caracteres formales, que fecha relativamente una vez que se ordena su línea evolutiva; —y las de las Ciencias utilizadas por la Arqueología como auxiliares, analíticas de las Ciencias Naturales y filológicas o docu-

mentales de las Ciencias Humanísticas, que suelen ofrecer cronologías absolutas.

Pero antes de desarrollar ejemplos de estas tres líneas, debo incidir en la lógica que obliga a utilizar una metodología arqueológica para el estudio de la Arquitectura histórica. Ha sido la actividad urbanística humana la que ha creado las manifestaciones materiales culturales que denominamos yacimientos arqueológicos. Parece evidente que se utilice un mismo sistema de análisis para los elementos que son consecuencia de la misma génesis histórica, construcciones y yacimientos. Los yacimientos son la última expresión de la actividad urbanizadora humana, cuando los grupos habitacionales, construidos sobre las ruinas de otros, definitivamente pierden su función. Los elementos y las huellas de las actividades humanas que ellos conservan son en su gran mayoría de carácter edilicio, estrictamente coetáneos y asociables a los elementos y actividades que dieron lugar a los edificios en pie y cuyas huellas se conservan en ellos. Lógicamente se someten a los mismos principios genéticos y, por tanto, nada impide, sino al contrario, todo demanda que se utilice la misma técnica de análisis (Harris 1991). Tanto arquitectos como arqueólogos debemos evitar las reticencias a utilizar un método que nos parece ajeno o un objeto de estudio que no creemos nuestro. El método arqueológico deviene de las Ciencias Naturales y de la Historia del Arte tanto o más que de la propia Historia y debe ser considerado propio de unos y otros sin aprensión ninguna.

Un ejemplo de esto lo ofrece el estudio de la iglesia del Trampal (Caballero y Sáez 1997). Aparte de la ubicación de la iglesia en un «yacimiento», el propio edificio lo es, al haberse arruinado algunas de sus partes hasta desaparecer como elementos aéreos. Pero además, el «yacimiento» ha crecido sobre las cubiertas del edificio que pueden excavarse igual que un yacimiento. Análisis estratigráficos de yacimiento y de edificio suponen una misma secuencia (construcción, degradación y reordenación y sucesivos procesos de ruina, readaptación y reconstrucción) que se ordena en un mismo diagrama cronológico (figura 5). Los materiales agregados a las unidades estratigráficas (por identidad o por inclusión) del yacimiento y del edificio, sean restos cerámicos o escultóricos, se estudian del mismo modo. Epígrafes, uno latino grabado en la pared del edificio y otro árabe grabado en una cerámica del subsuelo, se complementan en la comprensión social del lugar. Las múltiples razones, económicas, sociales, políticas, religiosas, que justifican la creación de una implantación mozárabe se presentan y se complementan tanto a través del yacimiento como del edificio. La arquitectura de la iglesia refleja estrictamente el proceso de creación de la explotación original; su inmediato abandono; la recuperación tardomedieval; el paulatino decaimiento hasta el abandono de 1800; su repoblación como consecuencia de la Desamortización; su definitivo abandono; y la última intervención, arqueológica y arquitectónica.

Todos los edificios históricos presentan una secuencia estratigráfica, que, aunque no estemos acostumbrados a ello, es mucho más rica de lo que en principio creemos. Secuencias que derivan de las sucesivas superposiciones, pero también de los cortes que provocan pérdidas o hiatos no siempre debidamente valorados. Las reconstrucciones y, sobre todo, las restauraciones de carácter historicista pretenden maquillar el edificio ocultando miméticamente lo que es y lo que no es en el edificio histórico. Esto es lo primero que resalta la lectura de paramentos o estratigráfica. Luego, lo que se espera, la secuencia de construcción, ruina y reconstrucción que sucesivamente ha sufrido el edificio hasta nuestros días, de modo que encontramos varios edificios integrados en donde parecía haber solo uno, cada cual con sus especificidades formales y funcionales; normalmente el primero de mayor empuje y los demás dependientes de él. Tobillas (Álava, Azkárate 1995b), S. Pedro el Viejo de Arlanza y S. Vicente del Valle (Burgos, Caballero y Cámara 1995 y Arce 1998), La Nave (fiigura. 3), Baños, El Trampal o Bande, todos en mayor o menor medida presentan esta riqueza secuencial. Baños es un ejemplo de la delimitación del proceso de intervención contemporáneo, al distinguirse una actuación cercana a la anastilosis en el muro que sostiene su arcada meridional a lo que nosotros sabemos desconocida hasta ahora (figura. 1; Caballero y Feijoo 1998).

Una característica que es también típica de la lectura estratigráfica es el descubrimiento de edificios que no son lo que parecen o que son lo que no aparentan. Azkárate (1995a) ya llamó la atención sobre ello, derivado de la conclusión implacable a que conduce el rigor metodológico y la ayuda de la información documental. Atán (Lugo, Caballero y otros 1999b), una «iglesia románica del s. XVI», es nues-

tro ejemplo más claro, de la que se nos preguntó si alguna de sus partes podía ser prerrománica dada la reutilización en ella de celosías así consideradas. No sólo no pudimos distinguir partes tan antiguas, sino que llegamos a la conclusión de que la iglesia se construyó aprovechando restos de edificios anteriores, entre ellos de una iglesia románica con cuyos restos se rehizo posiblemente en el s. XVI el ábside y dos portadas románicas, tallando en ese momento los elementos que necesitaban para completar lo reutilizado. Los elementos decorativos románicos están «incluidos» en las unidades renacentistas que se fechan por sus elementos que imitan a los románicos y que, aunque engañan a primera vista, se diferencian de ellos tipológicamente permitiendo datar el edificio. En otras ocasiones, como demuestran Feijoo y Rúa (1995) en S. Martín de Prado (Pontevedra), ocurre al contrario: una iglesia cuyo aspecto es moderno oculta una iglesia preromámica prácticamente completa. En este caso es la ausencia de «fósiles— guía» del edificio original y, en cambio, la presencia de formas de tipología moderna (marcos de puertas y ventanas) lo que determina la inadecuada datación, solo corregida parcialmente por la datación relativa que ofrece la estratigrafía. Muchas de nuestras iglesias rurales presentarán ambas situaciones, debiendo reubicarse en los respectivos catálogos, atrasando o adelantando su adscripción cronológica y aportando una información preciosa sobre la prehistoria de la intervención restauradora.

La estratigrafía de paramentos no sólo sirve como un instrumento de indudable caracterización cronológica. El ejemplo de Atán a que acabo de referirme indica también bastante sobre la ideología de sus constructores, de su comprensión de los estilos y de la economía, de la perduración de las soluciones constructivas y decorativas, y, quizás, del prestigio social de formas tradicionales o modernas, según el caso. Además, la estratigrafía, al diferenciar entre unidades originales, superficies de rotura o ruina y unidades añadidas de restauración permite verificar los daños sufridos por el edificio y a través de ellos «diagnosticar» los problemas constructivos a que se debían y las características constructivas del edificio. Ante todo la discriminación de los elementos pertenecientes a cada época permite reconstruir hasta donde es posible pero con rigor y seguridad las formas de los varios edificios que se sucedieron. Este es el caso de la reconstrucción de las iglesias prerrománica y gótica de Baños (Caballero y Feijoo 1998), ayudados por las escasas noticias dejadas por la información documental y la reconstrucción histórica (figura. 2). Parecido, desde la tipología pero sin la previa lectura estratigráfica, es el estudio de la modulación de los edificios asturianos efectuada por Arias (1995) que le permite reconstruir las formas perdidas y, lo que es más importante, los principios de sus trazados.

Las huellas conservadas en el edificio ayudan a reconstruir lo perdido del sistema constructivo que impide su perfecta comprensión. En las iglesias de Arlanza (Caballero y Cámara 1995), S. Vicente del Valle (Arce 1998), La Nave (figura. 4; Caballero y Arce 1997) y El Trampal (figura. 6 y 7; Caballero y Sáez 1999) es el tipo de ruina (desplazamiento de los sillares, inclinación de los muros, rotura de los testeros o de los dinteles de las puertas, grietas) lo que ayuda a reconstruir el sistema constructivo, esto es los arcos en las pilastras adosadas, las arcadas en las naves y sobre ellas la cubierta abovedada. La sistemática conservación de las bóvedas en los ábsides y, en ocasiones, en las cabeceras y la presencia de armaduras (de restauración) en el cuerpo de las iglesias «visigodas», hizo pensar que alternaban en ellas los dos sistemas constructivos. Sin embargo, los nuevos datos obtenidos permiten afirmar que estuvieron completamente abovedadas, extrapolando la conclusión al resto del grupo (figura. 8). Probablemnte fue el ensayo de estos sistemas de abovedamiento lo que hizo que sus empujes mal equilibrados provocaran su ruina en un proceso iniciado en unos casos a poco de construirse y prolongado en otros hasta nuestros días. Algunas, como Arlanza y S. Vicente del Valle, se restauraron en el acto con sistemas prerrománicos, incluso en varias ocasiones, mientras que las más se restauraron con sistemas que no tenían en cuenta e incluso variaban el sistema original, como ocurrió en La Nave y El Trampal. Los resultados permiten la reconstrucción virtual de los edificios originales.

Analizados los edificios actuales, documentadas descriptiva, planimétrica y diagramáticamente sus secuencias históricas, datadas éstas al menos relativamente y reconstruidas las formas constructivas; entonces se pueden plantear tipologías. Las ofrecen los materiales constructivos, los aparejos, los elementos decorativos y las estructuras o los sistemas constructivos. El grupo mayoritario retalla sillares expoliados de construcciones romanas (y también maderas), ajustando la talla a su posición, con los

que realizan aparejos de una apariencia formal muy perfecta, con cadenas de grandes sillares en los extremos de los paramentos y paños de hiladas más estrechas y onduladas (Caballero 1999); y cubren con bóvedas sobre pechinas los ábsides y quizás los cruceros, y con bóvedas de cañón sobre arcadas las aulas de tres naves. Este tipo se extiende en época de Reconquista especialmente por el valle del Duero y las zonas de Burgos y La Rioja. Con sus diferencias y excepciones pueden agruparse variantes según caracteres geográficos, culturales y cronológicos: mozárabe, extremeño, burgalés-riojano, los definidos como no «visigodos» —asturiano, mozárabe leonés y catalán entre otros— y portugués. Desde otra postura, algunos elementos parecen aislados ya porque no tuvieran éxito o porque no han llegado a nosotros más individuos de los tipos que formaran. Por ejemplo, la iglesia del Trampal ofrece unos tipos de mampostería y de bóvedas sobre arcadas adosadas a los muros que, a no ser por su relación con los palacios emeritenses, la habitación trasera de Melque y su lejana relación con fórmulas asturianas, se hubieran dado por únicos. La sillería sacada de cantera y la bóveda vaida de la iglesia de Melque no ofrecen paralelos; pero su iglesia alterna con la perfecta mampostería de sus edificios quizás monásticos. Aunque tipológicamente podamos proponer que la decoración de frisos, impostas y capiteles de las supuestas iglesias visigodas deriva de prototipos omeyas, en realidad desconocemos todo sobre su modo de transmisión y los eslabones intermedios, salvo un caso tan discutido como el de los estucos de Villajoyosa (Alicante).

Pero el problema de mayor importancia y más difícil de resolver es el de la cronología absoluta. Ante todo, como sabemos, los datos de cronología «absoluta» siempre se han de analizar a la luz del contexto a que pertenecen, «relativizándose» por tanto. En este sentido, es paradójico y equívoco separar una cronología absoluta de otra relativa, dado que la primera no debe utilizarse fuera del marco de un contexto, una secuencia y una hipótesis explicativa.

La ubicación cronológica de los datos que bordean los límites de una crisis —«catastrofismo»— aparece a la investigación como imprecisa, de modo que, en el momento de proponer un cambio de paradigma, parece que, situarlos a uno u otro lado del «límite», depende más del modelo que se sigue o, dicho de otro modo, que los datos en sí son incapaces de favorecer una u otra hipótesis. Es el caso de la fecha de carbono-14 de una cuerda de esparto de los estucos que decoran la iglesia de Melque (¿visigoda o mozárabe?) que abarca el último tercio del s. VII y los tres primeros cuartos del s. VIII (Caballero y Fernández Mier 1999). Además, su margen cronológico depende en gran parte de la curva de calibración por lo que se prevé que cualquier otra muestra coetánea dará un parecido margen cronológico. Un grafito del Trampal se dató en el s. VIII, pero la inclusión de esta iglesia en el grupo canónico visigodo impedía la aceptación de esta fecha, por lo que se consideró modernizante y se puso en reserva (Caballero y Velázquez 1989). Lo mismo había ocurrido antes con el grupo decorativo más avanzado de la escultura arquitectónica del taller de Mérida que su estudiosa (Cruz 1985) consideraba dependiente del arte omeya, pero de la que mantenía su cronología «visigoda» mientras otros argumentos no demostraran lo contrario.

Un problema semejante debe ocurrir con las últimas cerámicas visigodas y las primeras emirales, para las que no se poseen exactos referentes cronológicos, por lo que la cronología de sus tipos vacila entre poco antes y poco después del 700 según nuestros intereses. En El Trampal (Caballero y Sáez 1999) se ha diferenciado, lógicamente, junto a un grupo de cerámicas de tipología andalusí otro que se considera de tradición visigoda. Siendo ambos grupos coetáneos, sin embargo el visigodo funciona como «incluido», mientras que el primero, tecnológicamente más moderno, lo hace como «de identidad tipológica» o «fósil director» y, por lo tanto, data el contexto y la iglesia a que se asocia. Las mismas diferencias se pueden hacer con la escultura arquitectónica. Así ocurre en Baños (Caballero y Feijoo 1998) donde se han podido distinguir tres grupos decorativos, los dos primeros «incluidos» y solo el tercero «fósil» identificador (tipológicamente) del momento constructivo de la iglesia. Varias impostas de los capiteles y estos mismos son reutilizados y de segura cronología tardorromana (grupo 1). El «típico» grupo de impostas con círculos secantes o cuadrifolias y cintas que decoran los ábsides y el aula reutilizan también piezas recortadas, meticulosamente ajustadas al edificio (grupo 2). Estos elementos se consideran prototipo de la decoración «visigoda» pero, aunque lo sean a pesar de sus claros referentes con la decoración omeya, es evidente que no son coetáneos a la construcción de la iglesia que es posterior dado que los reutiliza. De ser un «fósil di-

rector» de lo considerado visigodo han pasado a ser un impreciso dato «post quem» de la iglesia. La datación de la iglesia viene determinada por el tercer grupo decorativo —el verdadero «fósil» director— formado por las piezas del grupo anterior retalladas para poder ser aprovechadas y nuevas piezas, ajimezes, impostas y canceles cuya tipología se relaciona perfectamente con la prerrománica. De este modo se plantea otro problema de datación al contradecirse la fecha de la inscripción del rey Recesvinto (652 ó 661 dC.) con este tercer grupo que identifica tipológicamente la iglesia en el s. IX. Esta inscripción, por tanto, también pasa de considerarse «fósil director» a ser un elemento «incluido», un dato «post quem». Para poder utilizar correctamente la fecha absoluta de esta «fuente escrita» era necesaria su previa relativización, la cual era imposible mientras no se aplicara al análisis del edificio una metodología específica como es la Arqueología de la Arquitectura.

Un caso semejante pero opuesto al de la inscripción de Recesvinto en Baños ocurre con la viga descubierta en la iglesia de La Nave cuando fue desmontada por Ferrant para su traslado. La lectura estratigráfica asegura razonablemente que pertenecía a la estructura original y que, por tanto, debía fechar el momento de su construcción. La pregunta a la analítica era simple: si la viga pertenecía al s. VII, según la explicación tradicional, o a los siglos IX-X según la nueva explicación. La conclusión del análisis dendrocronológico y de carbono-14 la fecha en el s. IV, contradiciendo las hipótesis previas y abriendo por tanto una nueva, la reutilización del material que, como sabemos, es una constante de estos grupos constructivos (Rodríguez Trobajo y otros 1998). Mientras que con la viga fue posible conseguir una fecha «absoluta» —aunque con su lógico margen— al conservar su albura, no ocurre lo mismo con las grapas que ataban los sillares y cuya cronología queda «flotante» al tener que sumarla una variable desconocida, «post quem» por lo tanto para la iglesia. De hecho todos estos elementos datados «absolutamente», por más que nos tiente, no podemos considerarlos «fósiles directores», de fecha equivalente a la de su edificio. Pensemos qué hubiera ocurrido si el análisis de la viga hubiera dado s. VII: se habría considerado coetánea a la iglesia y asegurado su visigotismo, sin pensar en la posibilidad de una reutilización más tardía hasta que alguna contradicción hubiera obligado a re-contextualizarla.

Como es sabido, los modelos previos son necesarios para poder desarrollar una investigación, pero estos modelos suponen el peligro de que datemos por ellos los elementos forzando la fecha. Es lo que nos ocurrió con Bande, fechada por una fuente escrita (Caballero, Arce y Utrero 1999a). En una donación de 982 se consigna que la iglesia fue repoblada en 872, cuando llevaba abandonada 200 o más años, por lo que se supuso que fue construida hacia 672. Sin embargo su consideración visigoda se contradecía con el estilo «asturiano» de algunos de sus elementos (capiteles, imposta, bóvedas de ladrillo), lo que se pretendió solucionar suponiendo que el ábside y las bóvedas de ladrillo pertenecerían al momento de Repoblación del s. IX. Pero el resultado de nuestra reciente lectura de paramentos indica que el edificio es básicamente unitario y que sólo en el exterior los muros han panzeado por efecto de la presión de las bóvedas siendo restaurados en distintos momentos (figura. 9). Demuestra por lo tanto que fue el modelo previo y la ausencia de un riguroso método de análisis lo que forzó una comprensión incorrecta del edificio. Admitiendo de antemano que la iglesia del documento y la de la Arqueología son la misma iglesia, la contradicción entre la noticia documental y la evidencia arqueológica solo puede ser resuelta aceptando que la iglesia está fechada por los elementos de cronología más moderna que la otorgan su «identidad tipológica», esto es los que se fechan por su paralelo con lo asturiano en el s. IX, obligando a buscar otra explicación al dato documental que, posiblemente, solo pretendía subrayar la antigüedad de la iglesia.

No quiero terminar mi texto sin referirme a dos cuestiones finales que, a mi modo de ver, dejan abierta la esperanza a la resolución de esta problemática que, de tan complicada como nos parece, tendemos a simplificarla en un «problema de fecha», *¿pero de cuándo son en realidad estas iglesias?*

Por una parte, parece reducirse a un problema de fecha que, desde la situación «límite» en que se encuentran y la relatividad cronológica de las secuencias estratigráfica y tipológica, es imposible conseguir. Sin embargo, a mi parecer, es en estas propias secuencias cronológicas relativas, por su rigor y orden, donde podemos encontrar ayuda a la hora de optar por un modelo explicativo. Si la secuencia tipológica de la escultura decorativa o, en general, del tipo revolucionario de iglesia abovedada, engarza, por

ejemplo, con los modelos omeyas, lo lógico es considerar que deriven de ellos y no al revés, que nuestras secuelas se adelanten a los prototipos orientales. Algo parecido debe ocurrir con la escultura de iglesias como La Nave respecto a las asturianas de las que deben derivar en contra de la opinión tradicionalmente admitida. Más difícil parece encontrar ayuda en las secuencias estratigráficas. Pero algunas, como las de Melque y el Trampal surgiendo como algo nuevo, insólito e inaúdito que enlaza enseguida y sin solución de continuidad con el momento inicial islámico, parecen indicarnos por sí mismas a qué lado del límite debemos colocar la secuencia conseguida, sin aparente hiato.

Por otra parte, rehuso considerar que el problema se reduzca a «la fecha». Tras cada fecha hay modelos explicativos muy distintos que versan sobre consideraciones muy variadas. El problema (y su solución) es histórico. Considerarlo de otro modo significa rebajarlo y aceptar que tiene un muy relativo interés frente a otras «historias». Así, la resolución del problema, refutando (no rechazando) una y otra hipótesis, significa avanzar en la comprensión compleja de estas producciones y de sus sociedades y, por lo tanto, en su estudio como un «programa de investigación» en que están empeñadas distintas teorías y distintos equipos de investigación que pertenecen a profesiones, escuelas y metodologías distintas, arquitectos y arqueólogos, pero también historiadores de todo tipo, lingüistas, físicos y químicos e, incluso, meros documentalistas. A mi parecer, no debemos avergonzarnos de hacer Historia en equipo.[1]

Notas

1. No hubiera sido posible avanzar en esta argumentación sin la ayuda de muchos colegas. De ellos sólo voy a citar algunos más cercanos, arquitectos Pablo Latorre, Leandro Cámara y Antonio Almagro; arqueólogos Agustín Azkárate y su equipo, Fernando Arce, Santiago Feijoo y Margarita Fernández Mier; y físicos y químicos, Fernán Alonso y Eduardo Rodríguez Trobajo.

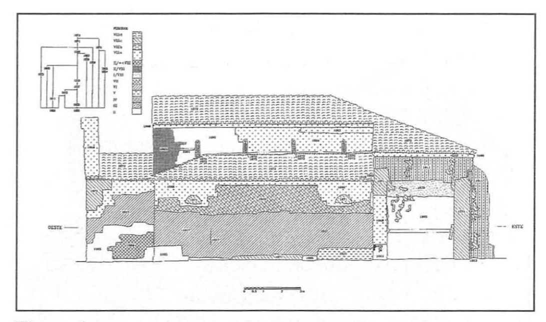


Figura 1.
Lectura de paramentos del alzado sur de la iglesia de S. Juan Bautista de Baños (Palencia).

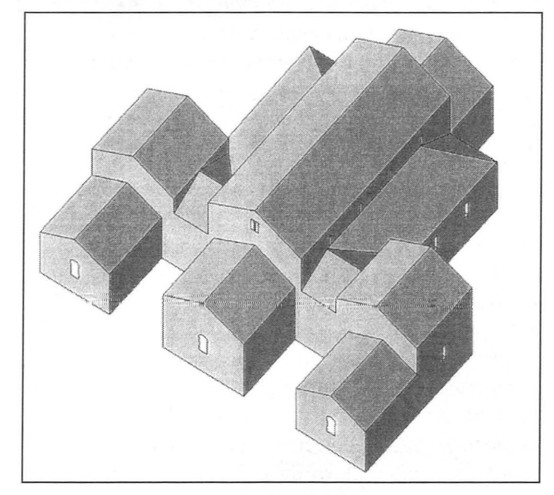


Figura 2.
Reconstrucción ideal del estado original de la iglesia de S. Juan de Baños.

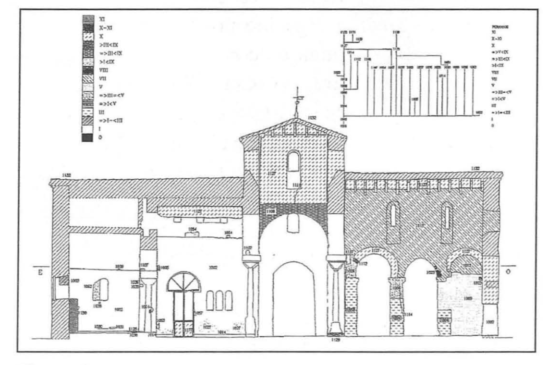


Figura 3.
Lectura de paramentos de la sección longitudinal a Sur de la iglesia de S. Pedro de la Nave (Zamora).

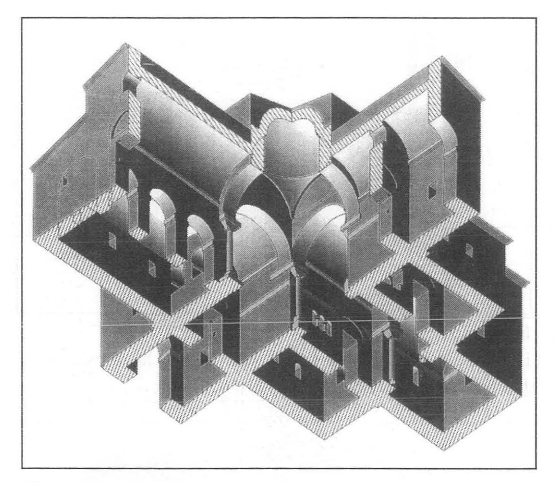


Figura 4.
Reconstrucción ideal en sección del estado original de la iglesia de S. Pedro de la Nave.

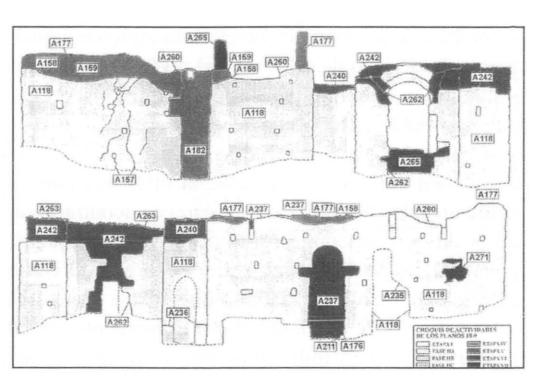


Figura 5.
Lecturas de paramentos de los alzados exteriores longitudinales de la iglesia de Sta. Lucía del Trampal (Cáceres).

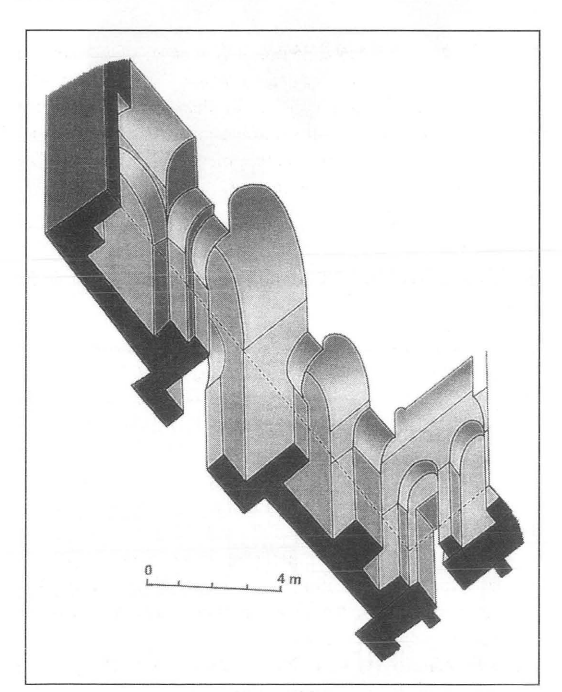


Figura 6.
Reconstrucción ideal de las habitaciones laterales abovedadas de la iglesia de Sta. Lucía del Trampal.

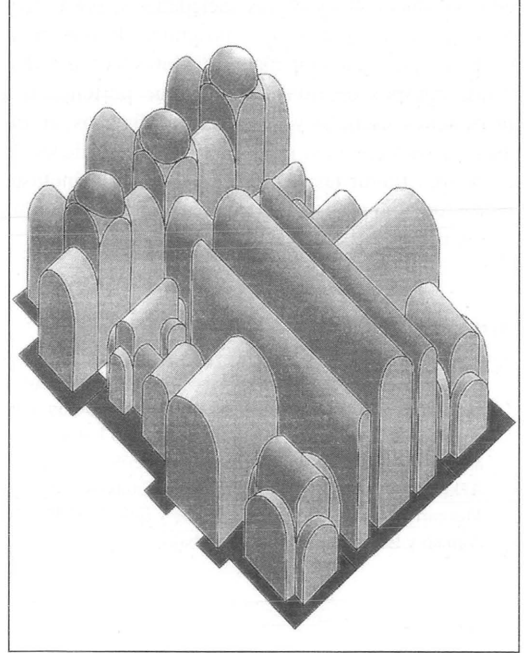


Figura 7.
Reconstrucción ideal del sistema de abovedamiento de la iglesia de Sta. Lucía del Trampal.

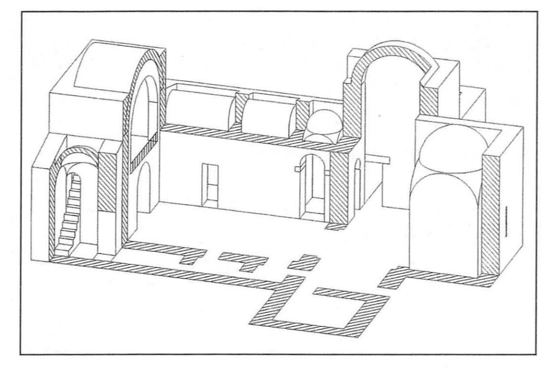


Figura 8.
Reconstrucción ideal, seccionada de la iglesia de Quintanilla de las Viñas (Burgos).

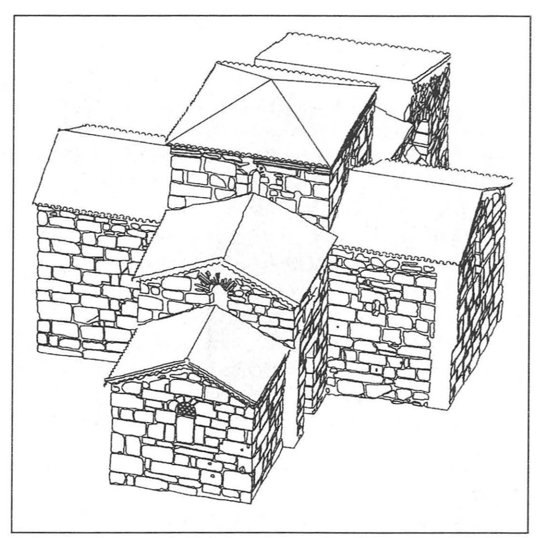


Figura 9.
Vista exterior de la iglesia de Sta. Comba de Bande (Orense).



BIBLIOGRAFÍA

Alba Calzado, M.: «Ocupación diacrónica del área arqueológica de Morería (Mérida)», *Mérida. Excavaciones Arqueológicas. Memoria 1994-95*, 1997, pp. 285-316.

Arce, F.: «Análisis arqueológico de la Arquitectura. El caso de la iglesia de la Asunción en San Vicente del Valle (Burgos)», *I Congreso de Arqueología Burgalesa,* 1998 (Burgos; en prensa).

Arias, L.: «Geometría y proporción en la arquitectura prerrománica asturiana: la iglesia de S. Julián de los Prados», *39 Corso di Cultura sull'Arte Ravennate e Bizantina*, 1992, pp. 11-62.

Azkárate Garai-Olaun, A: «Documentación y análisis arquitectónico en el País Vasco. Algunas experiencias llevadas a cabo en Álava-España», *Informes de la Construcción*, núm. 435, 1995, pp. 105-119.

Id: «Aportaciones al debate sobre la arquitectura prerrománica peninsular: la iglesia de San Román de Tobillas (Álava)», *Archivo Español de Arqueología*, núm. 68, 1995, pp. 189-214.

Bonnet, C. y Beltrán de Heredia, J.: «Conjunt episcopal de Barcelona, en *Del Romà al Romànic»*, «Enciclopedia Catalana», Barcelona, 1999, pp. 179-183.

Caballero Zoreda, L. y Latorre Macarrón, J. I.: *La Iglesia y el monasterio visigodo de Sta. Mª de Melque (Toledo)*, «Excavaciones Arqueológicas en España», 1990, núm. 109, Madrid.

Id. y Velázquez Soriano, I.: «Un grafito en el cimborrio central de la iglesia visigoda de Santa Lucía del Trampal, Alcuéscar (Cáceres)», *AEspA*, núm. 62, 1989, pp. 262-271.

Id.. «Sobre Santa Comba de Bande (Ourense) y las placas de Saamasas (Lugo)», *Galicia no tempo,* 1991, pp. 75-115.

Id.: Un canal de transmisión de lo clásico en la alta Edad Media española. Arquitectura y escultura de influjo omeya en la Península Ibérica entre mediados del siglo VIII e inicios del siglo X, *al-Qantara,* núms. 15-16, 1994-95, pp. 321-348 y 107-124.

Id. y Cámara Muñoz, L.: «Un caso de lectura de paramentos y argumentación científica. S. Pedro el Viejo de Arlanza, Burgos», *Informes de la Construcción*, núm. 435, 1995, pp. 79-89.

Id. y Escribano, C. (coord.): *Curso de Arqueología de la Arquitectura*, «Serie Actas», Salamanca, 1996.

Id. y Arce, F.: «La iglesia de San Pedro de La Nave (Zamora). Arqueología y arquitectura», *AEspA,* núm. 70, 1997, pp. 221-274.

Id. y Feijoo, S.: La iglesia altomedieval de San Juan Bautista en Baños de Cerrato (Palencia), *AEspA,* núm. 71, 1997, pp. 181-242.

Id.: «Aportación a la arquitectura altomedieval española. Definición de un grupo de iglesias castellanas, riojanas y vascas», *V Congreso de Arqueología Medieval Española,* 1999 (Valladolid, en prensa).

Id. y Fernández Mier, M.: Notas sobre el complejo productivo de Melque (Toledo). Prospección del territorio y análisis de Carbono-14, polínicos, carpológicos y antracológicos y de morteros», *AEspA*, núm. 72, 1999, pp. 199-239.

Id. y Sáez Lara, F.: *La iglesia mozárabe de Santa Lucía del Trampal, Alcuéscar (Cáceres). Arqueología y arquitectura*, «Memorias de Arqueología Extremeña» 2, 1999.

Id., Arce Saínz, F. y Utrero Agudo, Mª. A.: *Iglesia altomedieval de Santa Comba de San Torcuato, Bande (Orense). Lectura de paramentos*, CSIC, Madrid, 1999 (manuscrito).

Eid.: *¿Una iglesia románica del siglo XVI? Lectura de paramentos de San Estevo de Atán (Ferreira de Pantón, Lugo)*, CSIC, Madrid, 1999 (manuscrito).

Cruz Villalón, Mª.: *Mérida visigoda. La escultura arquitectónica y litúrgica*, Badajoz, 1985.

Feijoo, S. y Rúa, V.: La iglesia prerrománica de San Martín de Prado en Lalín, Pontevedra-España, *Informes de la Construcción*, núm. 46, 1995, pp. 91-100.

Harris, E. C.: *Principios de estratigrafía arqueológica*, Barcelona, 1991.

Juan Navarro, F. y Pastor, I.: «Los visigodos en Valencia. Pla de Nadal: ¿una villa áulica?», *Boletín de Arqueología Medieval*, núm. 3, 1989, pp. 137-179.

Mateos, P.: «La basílica de Sta. Eulalia de Mérida: Arqueología y urbanismo, *Anejos de AespA*, núm. 19, Madrid, 1999.

Palol i Salellas, P. de.: *Arqueología Cristiana de la España Romana*, Madrid y Valladolid, 1967.

Real, M. L.: «Innovação e resistência: dados recentes sobre a Antiguedade Cristâ no Ocidente Peninsular», *IV Reunión de Arqueología Cristiana Hispánica* (Lisboa 1992), Barcelona, 1995, pp.17-68.

Rodríguez Trobajo, E., Alonso Matthías, F. y Caballero Zoreda, L.: «Datación de una viga de la iglesia de San Pedro de la Nave (Zamora)», *AEspA*, núm. 71, 1998, pp. 283-294.

Schlunk, H. y Hauschild, Th.: «Die Denkmäler der frühchristlichen und Westgotischen Zeikt», *Hispania Antiqua*, Mainz am Rheim, 1978.

Soriano Sánchez, R.: «Los restos arqueológicos de la sede episcopal valentina. Avance preliminar», *IV RACH* (Lisboa 1992), Barcelona, 1995, pp. 133-140.

Las bóvedas de cerámica armada en la obra de Eladio Dieste. Análisis y posibilidades de adaptación a las condiciones constructivas españolas

Jose María Cabeza Lainez
José Manuel Almodóvar Melendo

El ingeniero uruguayo Eladio Dieste, realizó entre 1945 y 1975, toda una serie de obras extraordinarias que ponían en valor un material tradicional y simple como el ladrillo o el mampuesto, confiriéndole al mismo tiempo la ductilidad y capacidad mecánica del hormigón armado por medio de una técnica mixta a la que llamaremos temporalmente «cerámica armada».

La idea de compensar la falta de resistencia a tracción de los materiales pétreos y, en especial, de la mampostería, ha sido recurrente en la Historia de la Arquitectura. Sin embargo, las mayores aplicaciones se han producido desde que el material metálico, experimenta una evolución sin precedentes que culminó con la producción industrial del hierro y sobre todo del acero. Antes de eso, el papel del hierro, muy utilizado por otra parte en elementos para la guerra, quedaba muy limitado, y según Plinio era este «un justo castigo a la probada iniquidad del material férreo».[1]

Como consecuencia, quisiéramos proceder a continuación, a una breve revista histórica de las actitudes que, a partir de ese uso industrial del acero, suponen el precedente que posibilitó entre otras, la obra de Eladio Dieste y la consideración de que, este tipo de Arquitectura, no se encuentra en modo alguno desligada de una cierta tradición constructiva del siglo XX y aún anterior. Esa tradición tiene mucho que ver según esperamos demostrar, con la nostalgia del Mediterráneo y el empleo de materiales discretos, que podríamos tildar de humildes y que casi siempre estaban fabricados a mano.

Mientras que el devenir del hormigón armado con las realizaciones de Hennebique y otros, es bien conocido, no lo es tanto el hecho de que en 1890, el ingeniero francés Paul Cottancin, patentó un sistema al que denominó *ciment armé* que consistía en reforzar elementos básicos de ladrillo con alambre y cemento; estos dos últimos materiales aparecían con más frecuencia en las zonas de máxima tensión, mientras que las zonas simplemente comprimidas se ejecutaban solamente con el mampuesto, a la antigua usanza.

El descubrimiento interesó a arquitectos como Anatole de Baudot, quien lo empleó con éxito en su iglesia (hoy demolida) de Saint Jean de Montmartre.

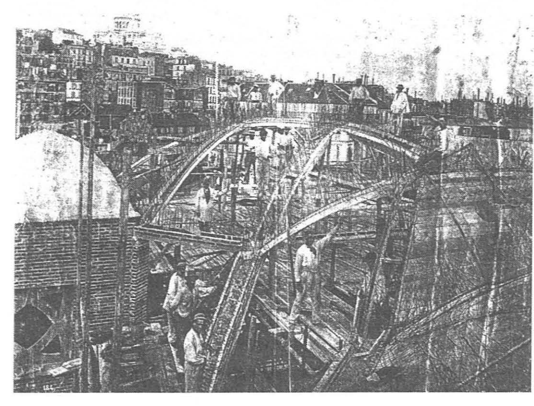


Figura 1
Construcción de la Iglesia de Saint Jean de Montmartre. Paris.

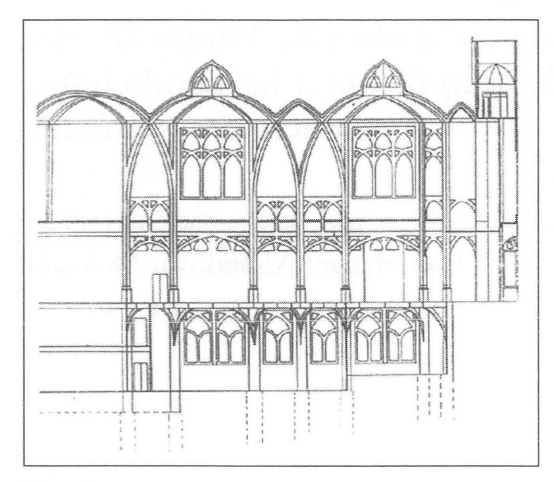


Figura 2
Sección de la Iglesia de Saint Jean

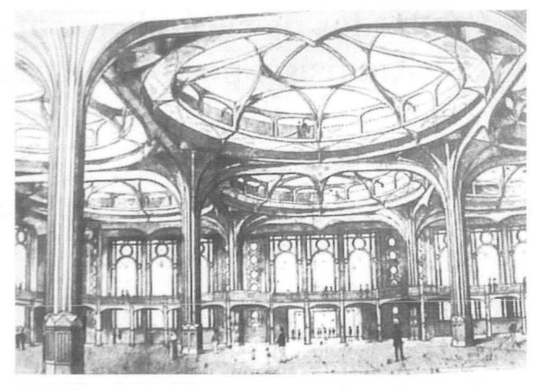


Figura 4
Anatole de Baudot. Salle des fêtes. 1910

Baudot, consideraba que la técnica del *ciment armé*, versátil y de mayor finura en sus acabados, era más adecuada para la Arquitectura que la del *betôn armé* reservada al parecer para la Ingeniería Civil.

Las intrincadas bóvedas de Saint Jean, se relacionan con toda una serie de proyectos *grande salle*, realizados por Baudot, como la propuesta para la Exposición de París de 1900. En ellas se pueden entender perfectamente las ventajas e inconvenientes de esta utilización novedosa del ladrillo. Dada su complejidad, la técnica resultaría pronto obsoleta.

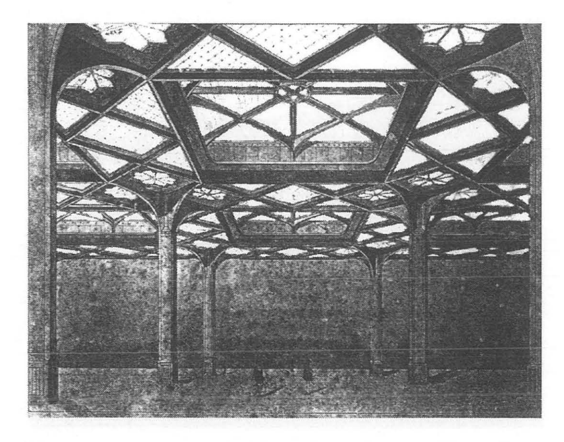


Figura 3
Primer proyecto *grande salle* de Baudot

Paralelamente y, al otro lado del Atlántico, el arquitecto Rafael Guastavino, de origen barcelonés había mostrado, sobre todo en el área de New York, las posibilidades de lo que él designó como *construcción cohesiva*. Se trataba de técnicas de cubrición basadas en lo que hoy llamamos *bóvedas catalanas* o también *bóvedas extremeñas*. En síntesis, cubiertas curvas compuestas por una o varias capas de ladrillo fino (*rasilla*), donde la inferior de las mismas está labrada con yeso y obtiene una rigidez casi inmediata, evitando la necesidad de un proceso de encofrado permanente. Al igual que en los casos posteriores de Félix Candela y del propio Dieste, estas técnicas de abovedado se introdujeron en América, por causa de su economía superior respecto a otros medios ya conocidos o empleados.

Sin embargo, no tenemos constancia de que Guastavino añadiese ningún tipo de armadura férrea en sus construcciones. A pesar de todo, las obras consiguieron una notable durabilidad y esto le confirió cierto reconocimiento. En prueba de ello, Candela eligió como lugar de descanso para sus restos mortales, el mismo cementerio de Ashville donde está enterrado Guastavino.[2]

El arquitecto catalán, desarrolló en América, a gran escala, técnicas constructivas que habían perdurado en el Mediterráneo durante un largo tiempo, y que a principios del siglo XX, se mantenían aún vivas entre ciertos gremios de albañiles. Esto parece claro cuando contemplamos por ejemplo aquellas primeras bóvedas, ya sí atirantadas, de Josep Lluis Sert y Torrés Clavé (1935), para sus casas de fin de semana en Garraf.

Sert volverá a este tipo constructivo cuando en 1954, desde Massachussets, proyecte y construya el Taller para Joan Miró en Palma de Mallorca. Es muy significativo sin embargo, que las bóvedas en este nuevo caso, se ejecuten con hormigón armado siguiendo los muy prolijos cálculos del ingeniero Antonio Ochoa de Retana.[3]

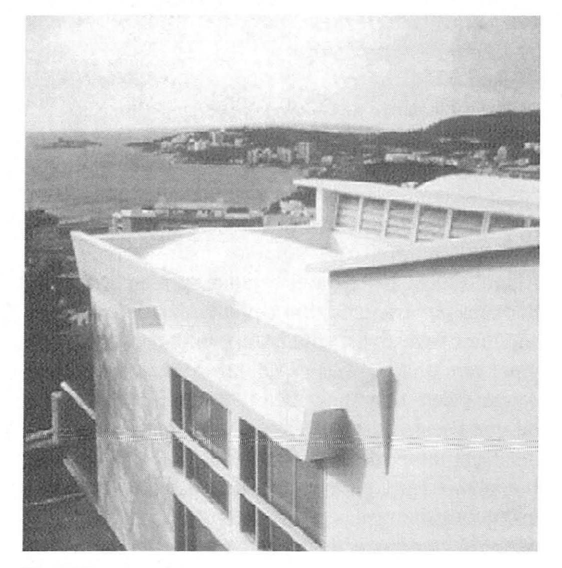


Figura 5
J. L. Sert. Taller para Joan Miró

En aquel lapso de tiempo, se habían producido no obstante, y probablemente con la aquiescencia de Sert, algunos hechos significativos para nuestra historia. Uno de estos hechos es el proyecto de Maisons Jaoul, realizado por Le Corbusier y finalmente construido en 1952. En ese proyecto, que tanto extrañó a J. Stirling, según él por las nostálgicas bóvedas de ladrillo —material *in situ*, trabaja también en París el joven arquitecto Antoni Bonet. No era, sin embargo, el primer caso en el que Corbusier utilizaba bóvedas, su propio ático en Nungesser et Coli, nº24 así lo atestigua.

Antoni Bonet, que no deseaba volver a la España de posguerra, se establece en Buenos Aires junto con los argentinos Ferrari y Kurchan, y en uno de sus primeros proyectos para la capital del Plata, los *ateliers* entre las calles Paraguay y Suipacha de 1945, encarga a Eladio Dieste, la construcción de una bóveda *a*



Figura 6
Las *maisons Jaoul* en las afueras de París

la catalana. El uruguayo decidió al parecer utilizar un refuerzo con acero pues las cubiertas sugeridas por Bonet eran en exceso verticales.

Como último eslabón del proceso, debemos citar al ingeniero Eduardo Torroja quien utilizó también en su Iglesia de Pont de Suert en Lérida (1954), cerramientos y bóvedas de ladrillo rasilla armado. Torroja dispuso tres capas de ladrillo, tomando la primera con yeso e incorporando una armadura ligera en el revestimiento exterior de la bóveda, pero advirtiendo que estas barras lisas podría colocarse sin pro-

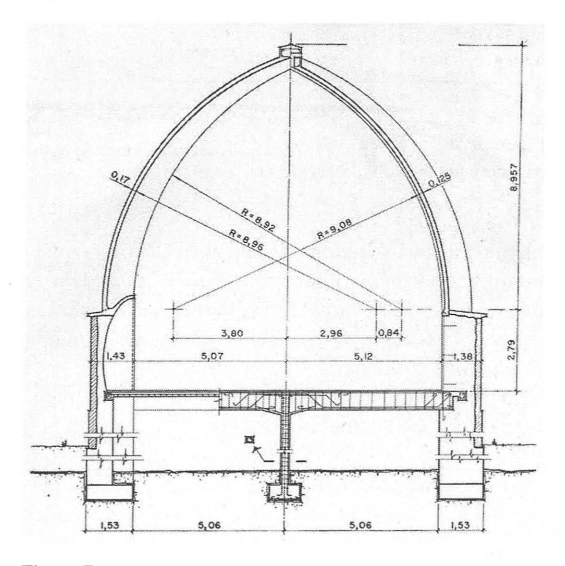


Figura 7
Sección transversal de la Iglesia de Pont de Suert.

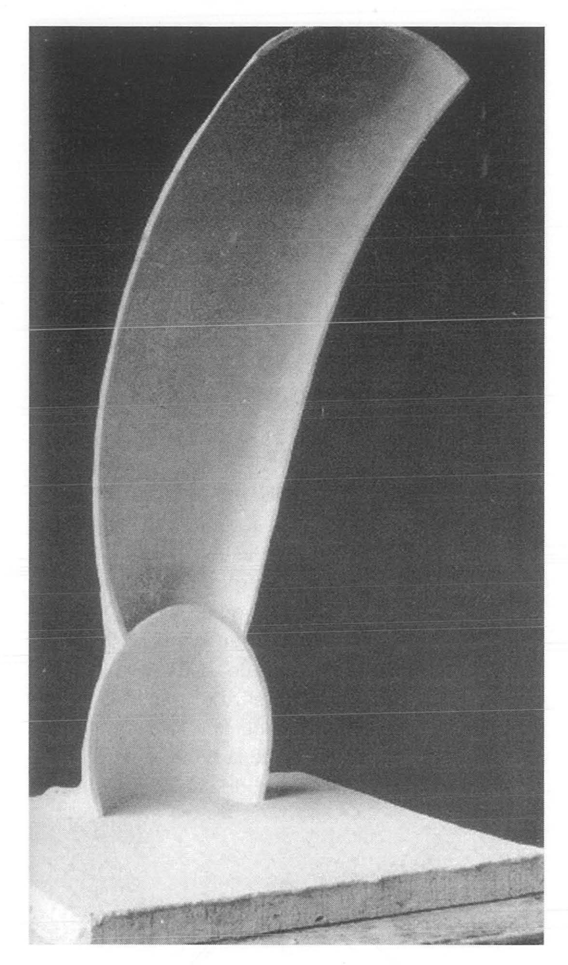


Figura 8
Maqueta del módulo de la Iglesia

blemas en otros lugares de la fábrica. Por razones que desconocemos, nunca más volvió a emplear el mismo sistema en otras obras. Parece ser que fue la progresiva pérdida trabajadores cualificados la que le disuadió de continuar.

Dieste continúa trabajando en proyectos de membranas fundamentalmente para la construcción industrial, pero pronto advierte las grandes posibilidades del nuevo sistema, frente a los costosos procedimientos del hormigón armado, que le hacían depender casi por completo de tecnologías foráneas. En 1959, se decide a presentar su patente para bóvedas de doble curvatura con piezas de cerámica armada.

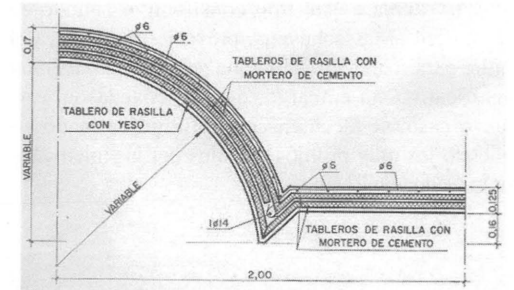


Figura 9
Detalle constructivo de la bóveda de cerámica armada

Los procedimientos de análisis estructural empleados por Dieste para ejecutar sus «cáscaras de cerámica» no difieren en exceso de los métodos simplificados de Lundgren que solemos usar —como hizo Antonio Ochoa— para el estudio de membranas cilíndricas de hormigón. Sin embargo, aparecen ciertas variantes sugestivas, debidas por un lado al material, y por otro a las formas de doble curvatura utilizadas. Además de esto no hay que olvidar la dimensión moral que Dieste otorgaba a todas sus obras, entendiéndolas como un medio para salir del subdesarrollo en Latinoamérica y para devolver la dignidad perdida a los obreros indígenas de la construcción. Todo ello le permitió configurar una singular poética que nace de la misma esencia de la materia y de lo constructivo.

El método de Lundgren, según se ha dicho, fue el adaptado por Eladio Dieste para ejecutar la mayor parte de sus bóvedas como aparece descrito en sus propios libros, sin que hayamos podido, por lo demás, encontrar referencias directas hacia el autor danés.

El citado método suele recibir también el nombre de «teoría de la viga», puesto que la parte principal del mismo, consiste en suponer que toda la membrana actúa como una gran viga cuya sección transversal es el arco de la propia lámina.

En tal caso es posible emplear las conocidas fórmulas de resistencia de materiales que hacen referencia al momento flector dividido por el momento resistente de la sección. Con ellas podemos hallar las tensiones según las generatrices de la lámina pues:

$$N_x = \frac{M_{yy}}{I_{yy}} z\, d$$

donde I_{yy}, es el momento de inercia en la dirección y (la vertical en una membrana simétrica). En el caso de directriz circular, su expresión integral valdría:

$$I_{yy} = 2d\int_0^{\phi_c} a\, d\phi\left(a\, cos\phi - \frac{a\, sen\phi_c}{\phi_c}\right)$$

También es posible hallar los esfuerzos tangenciales puesto que por la segunda fórmula fundamental en ciencia de los materiales nos dice que:

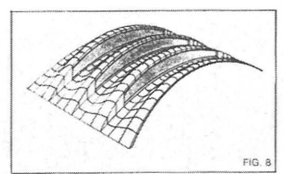
$$N_{x\phi} = \frac{V\,Q}{2\,I_{yy}}$$

Donde V son los cortantes y Q es el momento estático de la sección.

Una vez hallados estos esfuerzos, el análisis se completa considerando como arco la membrana, utilizando para ello algún sistema de cálculo de arcos hiperestáticos como, por ejemplo, el sistema de analogía con la columna que fue descrito por Hardy Cross hacia 1930. Así, finalmente, obtenemos otros esfuerzos relevantes como N_f, M_f o hasta M_x.

Si bien es cierto que el procedimiento definido a grandes rasgos, presenta notables simplificaciones, y deben aplicarse un número progresivo de correcciones más o menos aproximadas, no hay en la actualidad otro procedimiento más exacto, ni más fiable, para el análisis de membranas de directriz no circular o con variaciones de sección a lo largo de las generatrices como era el caso de las bóvedas «gausas» (en honor a K. F. Gauss) propuestas por Dieste. Dada la heterogeneidad del material (claramente no ortótropo) hasta el método de elementos finitos podría no necesariamente suponer un mayor grado de exactitud.

Obtenidos los esfuerzos por éstos y otros sistemas complementarios, es interesante constatar, que Dieste tiene que recurrir a los métodos tradicionales de la misma resistencia de materiales para el armado de sus membranas. Dicho de otro modo, no es aquí aplicable el método parábola-rectángulo, el llamado del momento tope, o cualquier otro sistema, que presuponga una deformación similar a la ocurrida en el hormigón armado. Evidentemente el conglomerado de cemento, ladrillo y armadura es más heterogéneo que el hormigón y en este caso, parece razonable suponer que las tensiones procedentes del bloque de tracción serán absorbidas en su totalidad por el acero, mientras que las de compresión, lo serán a su vez por el ladrillo o por el conglomerado. Es curioso constatar que aproximaciones de similar naturaleza se dan cuando aplicamos los métodos de elementos finitos.



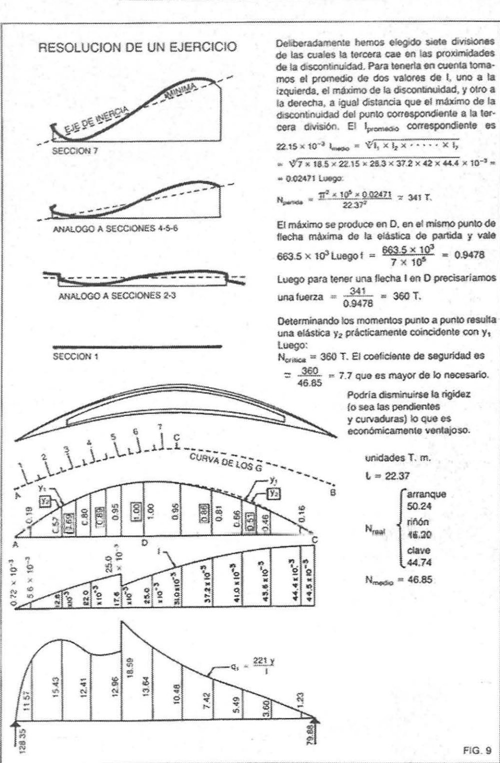


Figura 10
Ejemplo de cálculo de bóvedas *gausas*. Eladio Dieste

Puede hacerse también notar que Dieste no empleaba apenas coeficientes de mayoración o minoración en sus cálculos, lo que contribuía grandemente a la esbeltez de sus soluciones, pero complicaba extraordinariamente los análisis matemáticos ante la lógica presencia de imponderables. Utilizaba como referencia fundamental el libro del húngaro Hetenyi, un seguidor de Timoshenko, para completar los cálculos

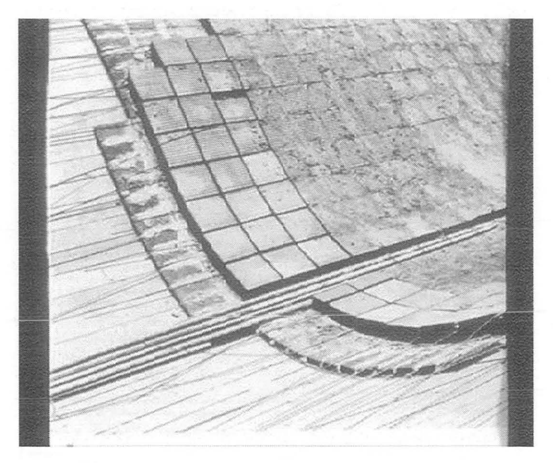


Figura 11
Armadura entre las piezas de ladrillo

de deformación y también los repartos de momentos en arcos-bóveda continuos, es decir, no aislados.

Dieste intentaba armar casi siempre sus estructuras siguiendo las líneas isostáticas, hoy hemos comprobado que es suficientemente seguro y menos costoso armar según las diagonales de la estructura en planta.

En el sistema constructivo empleado por Dieste, el mampuesto normalmente estaba formado por piezas únicas de 15 a 20 cm. de espesor, a manera de bovedillas, y era preciso incorporar armadura entre las juntas de cada pieza, lo cual dificulta la ejecución y aumenta considerablemente la mano de obra. Además, es preciso utilizar un encofrado que aunque sea deslizante requiere de utensilios especiales, diseñados por el mismo Dieste, para su adecuada puesta en obra.

Rescatando todas las técnicas constructivas aquí descritas hemos puesto en práctica un nuevo sistema que, a la manera de aquél iniciado por Eduardo Torroja, emplea al mismo tiempo los sistemas de bóveda a la catalana junto con la armadura ya corrugada que en este caso no ha de colocarse discrecionalmente sino que se prepara por témpanos previamente cal-

Figura 12
ucernario de cerámica armada. Tablas y vigas

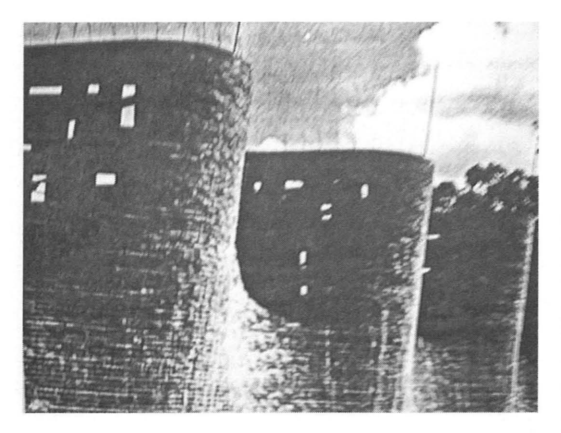


Figura 13
Proceso constructivo de la Iglesia de Atlántida. Realizada por Eladio Dieste en los alrededores de Montevideo

culados con el método de la viga o por elementos finitos, según sea el caso, y que economizan considerablemente la mano de obra.



Fig. 14
Levantamiento del muro

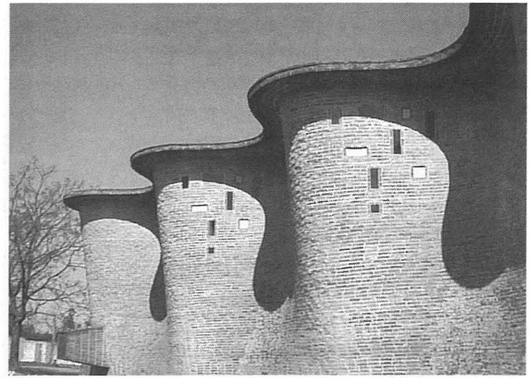


Fig. 15
La iglesia construida. Vista lateral

Puesto que la primera *rosca* o capa, es tomada con mortero de yeso, no se requiere encofrado y tampoco hay que utilizar armadura entre las juntas del ladrillo sino entre capa y capa.

El sistema empleado en diversas obras en Andalucía, ha demostrado hasta el momento su eficacia, economía y durabilidad. Y los inconvenientes que siempre presenta una nueva técnica constructiva parecen ser de fácil subsanación y mejora, con lo que creemos que se puede poner de manifiesto que el desafío lanzada a las naciones desarrolladas por Dieste en su «Técnica y Subdesarrollo» continúa teniendo validez y produciendo nuevas adaptaciones más allá de un lugar o un tiempo concretos, lo que en definitiva viene a cuestionar el *statu quo* de la Tecnología Actual y sus implicaciones sociales y medioambientales.

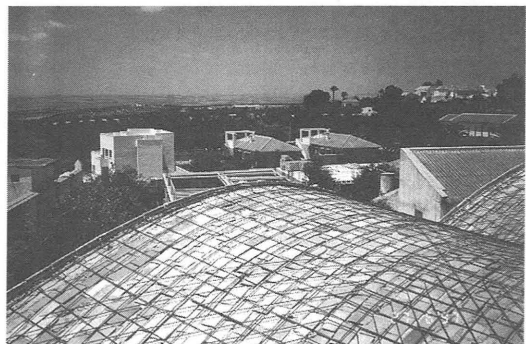


Fig 16
La nueva técnica de armado. Sevilla



Fig. 17
Vista inferior de bóvedas conoidales

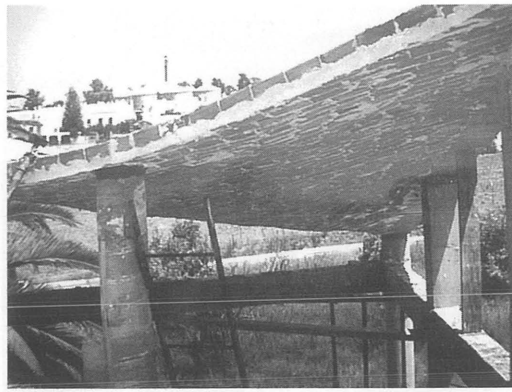


Fig. 18.
Bóveda en forma de cono invertido

NOTAS

1. Giedion, S.: *La arquitectura, los fenómenos de transición*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 1979.
2. Candela, F.: «Comunicación Personal». Sevilla, 1987.
3. Sert, J. L.: *Taller per a Joan Miró*. Collegi Oficial D'Arquitectes de Balears. Palma de Mallorca, 1990.

BIBLIOGRAFÍA

A.A.V.V. Monografía sobre la obra de Eduardo Torroja. *Informes de la Construcción*. nº 137. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1962.

A.A.V.V. AC/ G.A.T.E.P.A.C. 1931-1937. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 1975.

Cross, H.: «Column Analogy», *Engineering Experiment Station Bulletin*, nº 215, Vol. 28, Nº 7. University of Illinois, 1930.

Dieste, E.: *La estructura cerámica*. Ediciones Latinoamericanas. Bogotá, 1987.

Frampton, K.: *Studies in Tectonic Culture*. The MIT Press. Cambridge, Massachussets, 1995.

Guastavino, R.: *Essay on the theory and history of cohesive construction*. Ticknor and Company. Boston, 1893.

Liernur, J. F.: «Tipo, damero y tabla rasa; el debate modernista sobre la vivienda en altura en Buenos Aires, de Antonio Vilar a Amancio Williams (1929-1943)», *Primer Seminario Docomomo Ibérico*, Zaragoza, 1997.

Lundgren, H.: *Cylindrical Shells. Vol. 1 de Cylindrical Roofs*. Danish Technical Press. Copenhagen, 1949.

Ramaswamy, G.S.: *Design and Construction of Concrete Shell Roofs*. R. E. Krieger. Malabar, Florida, 1984

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer la colaboración del arquitecto D. Rafael Herrera Limones. Profesor Asociado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universidad de Sevilla.

Aspectos técnico-constructivos de la arquitectura fortificada en el condado de Monteodorisio (Italia)

Carlos Alberto Cacciavillani

Monteodorisio —modesta capital de un condado compuesto por trece pequeños asentamientos rurales— destaca en el panorama histórico territorial por haber sido gobernado por caudillos y aristócratas ligados a los señores y a los soberanos que se fueron sucediendo en el trono de Nápoles: de los Longobardos a los Normandos, de los Suabios a los Angioinos, de los Aragoneses a los Españoles, y de los Austrias a los Borbones hasta llegar a la Unificación.

Considerado un lugar estratégico de notable importancia su emplazamiento geográfico favoreció el refuerzo de sus defensas. El castillo y las torres de la muralla que quedan testimonian, aún hoy, los acontecimientos que se fueron sucediendo en el curso de los siglos.

El enfoque histórico e histórico-arquitectónico global del territorio del condado de Monteodorisio (figura 1), el levantamiento y el estudio esmerado de las distintas arquitecturas fortificadas constituyen la premisa indispensable para la identificación de los caracteres arquitectónicos del territorio y para una evaluación de los mismos bajo el perfil técnico-constructivo.

El panorama de la edilicia medieval se ha caracterizado, también en el condado, por la proliferación de técnicas murarias distintas, distinguidas por el empleo del material disponible con mayor facilidad en el lugar y por una puesta en obra muy variable. La escasez de medios y la dificultad en los transportes enlazan estrechamente la obra medieval con la realidad física y social del territorio en estudio.

En general, se pasa de una fase alto medieval, marcadamente caracterizada por la recuperación del material constructivo antiguo, a un período, correspondiente a los siglos XI y XII, en el que predominan estructuras murarias de mediana calidad, por lo general poco regulares y de gruesas juntas. Dichas estructuras, entre los siglos XII y XIII, tienden a una regu-

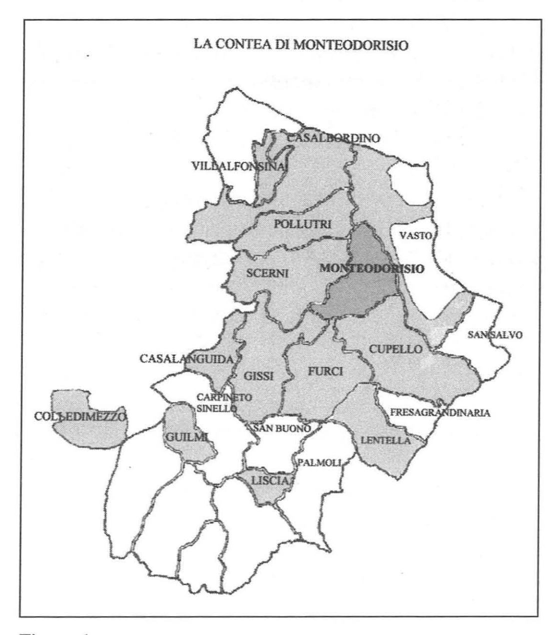


Figura 1

larización de la puesta en obra y a una mejor realización en la elaboración de cada pieza. La calidad de la albañilería vuelve a empeorar en la época tardo-medieval y post-medieval, coincidiendo con la adopción, cada vez más difundida, de la práctica de enlucir las paredes externas de los edificios.[1] A la limitación del ámbito territorial de análisis le corresponde la mayor caracterización de los muros y la extensión de los procedimientos técnicos reconocidos como constantes, por ejemplo en las modalidades de preparación de los morteros, en el procedimiento de elaboración de la piedra, en los instrumentos adoptados, etc.

Hay que considerar que la arquitectura fortificada (torres, murallas, fortalezas), con respecto a la civil y religiosa, permite una mayor posibilidad para analizar de modo directo los edificios, relativamente menos sujetos a alteraciones.

La estructura muraria de la construcción medieval del condado de Monteodorisio está constituida prevalentemente por canto rodado, mampuestos y ladrillo. Los morteros son por lo general de cal y arena. Son frecuentes los muros irregulares, que se distinguen por la dimensión de las piedras rústicas y de los bloques y por el criterio empleado para su traba.

Muchos de los centros del condado eran castillos, es decir que estaban equipados con un recinto fortificado, en concreto: Monteodorisio, Casalbordino, Pollutri, y Colledimezzo. La planimetría de estas fortificaciones tenía formas y caracteres distintos, adaptados a la orografía del terreno: la estructura regular cuadrangular de Casalbordino (con cuatro torres cuadradas, normandas o suabias, además de dos torres cilíndricas angioinas); la estructura que se adaptaba a la morfología del territorio como en Monteodorisio o Pollustri (siempre con torres cilíndricas y cuadradas y murallas); o por último el caso de Colledimezzo, en donde, como se puede observar aún hoy en día, la muralla estaba constituida por los mismos edificios residenciales (casas-torre). Lamentablemente, en la actualidad las construcciones superpuestas y las destrucciones han eliminado en su mayoría la consistencia de los cordones murarios urbanos.

Los castillos y la fortaleza del condado presentan además una estrecha relación con el poblado y están naturalmente conectados con el sistema de viarios del territorio y con los recorridos del ganado trashumante. Más allá de las diferencias en el plano tipológico y formal, las estructuras fortificadas de la zona parecen fundadas sobre un hilo de continuidad expresado, como veremos más adelante, por la adopción de técnicas murarias semejantes, expresión de una cultura de la construcción que caracteriza a las poblaciones lugareñas. A continuación, nos referiremos a los materiales presentes en las fortificaciones: piedra, mortero y ladrillo.

Materiales de construcción

La piedra

El empleo exclusivo de la piedra, sobre todo calcárea, en las fortificaciones del condado de Monteodorisio confirma el principio según el cual una obra arquitectónica refleja su subsuelo, característica ésta común a la mayoría de los edificios fortificados italianos.[2]

Una fuente habitual de aprovisionamiento del material para la construcción consiste en la reutilización. Esta costumbre estaba particularmente consolidada en las arquitecturas fortificadas debido a las dificultades de transporte, que prácticamente obligaba a recuperar el material, en particular a los ladrillos, piedras rústicas y bloques compactos de piedra calcárea, procedentes de edificios más antiguos, que se habían derrumbado o que habían sido demolidos.

Son evidentes y claramente distinguibles los materiales de recuperación como se observa en el ángulo y en la base de la torre de los Celestinos (figura 2) del siglo XIII en Monteodorisio, con piedras calcáreas compactas, que seguramente pertenecían a otro tipo de edificio puesto que una de estas presenta todavía decoraciones en relieve; asimismo en la base del lienzo de la muralla entre las torres septentrional y occidental de la fortaleza de Monteodorisio (figura3), siempre con piedras calcáreas pero de notables dimensiones, 60 x 30 cm.

El material elaborado ex profeso está constituido por pedrisco y cantos rodados calcáreos provenientes de los depósitos aglomerados y aluviales explotados en canteras existentes en el territorio.

Elaboración y acabado del elemento pétreo

En la cantera o en la obra, el elemento lapídeo era objeto, antes de su puesta en obra, de una elabora-

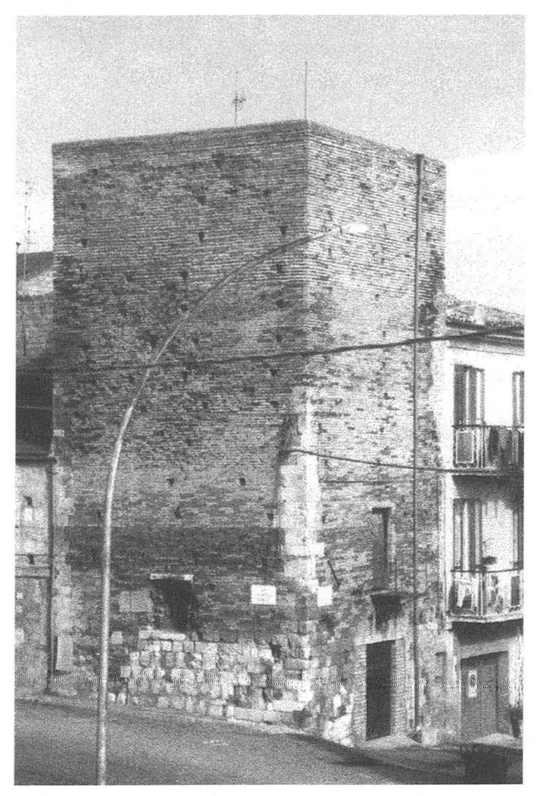


Figura 2
Monteodoriosio, Torre de los Celestinos, vista general

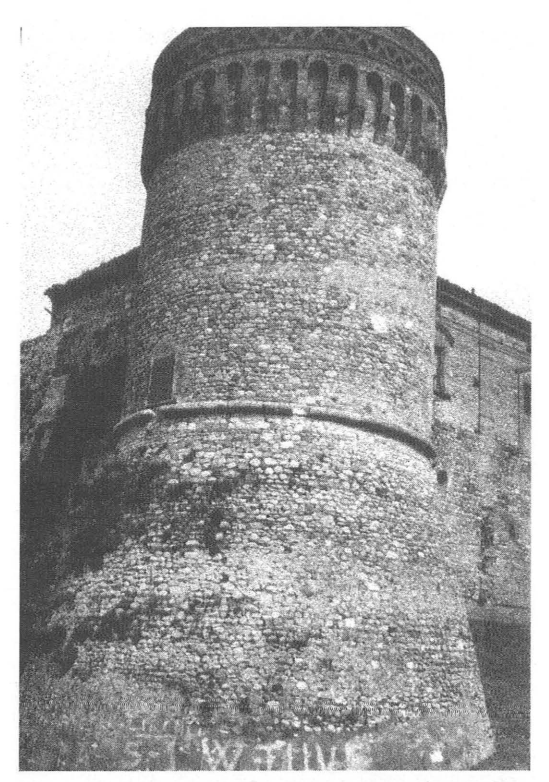


Figura 3
Monteodoriosio, Torre de la fortaleza, torrión noreste

ción más o menos superficial, por medio del empleo de uno o más instrumentos, elegidos en relación al tipo de piedra que se debía elaborar y al tipo de acabado requerido.

Por lo general, la pieza se sometía siempre a un tratamiento, aunque fuera mínimo: el *pilloro íntegro* (canto rodado grande de río), o el bloque errático, característicos de la arquitectura medieval, sobre todo la rural, no se colocan en obra, en el condado, sin haber sido desbastados aunque sea toscamente, en las superficies de contacto, o si no partidos en dos para disponer la parte plana hacia la faz del paramento.

Entre los instrumentos *de percusión directa*, utilizados, se encuentran: el *picconcello* (o *picca, picchiarello*) la pica; la marra; el hacha y la martelina; y entre los instrumentos *de percusión indirecta*, la lezna, el cincel y la gradina.

El desbastado superficial constituye una de las elaboraciones más comunes de la pieza; el bloque calcáreo compacto podría haber sido partido con la marra y desbastado con la pica o la lezna probablemente con un ángulo de inclinación con respecto a la superficie de 70º-90º, según se deduce por la forma irregular y la presencia de toscos hoyos en hiladas ásperas sobre la piedra.[3] La elaboración conseguía un tosco nivelado de la superficie dejando, sin embargo, en su estado natural la parte que debía penetrar en el muro.

El labrado de la piedra calcárea compacta podía realizarse según distintos grados de acabado. El primer grado, se podía materializar con los mismos instrumentos empleados para el desbastado preliminar; en este caso, el elemento se elaboraba más veces para obtener superficies irregulares con chaflanes, redondeados o esquirlados. La calidad del trabajo mejoraba con el empleo de la martelina o del cincel; las superficies asumían un aspecto más aplanado, al tiempo que las aristas quedaban más redondeadas. Este tipo de elaboración de los denominados *bloques* se encuentra asociada, más o menos generalizada, a

piedras rústicas en casi todos los muros, como en la torre de la muralla de Casalbordino (figura 4), torres de los muros de la ciudad en vía Muro Rotto (siglo XIII), en Largo Carbonara (siglo XIII) y en Castelluccio (siglo XII), en Monteodorisio junto con la fortaleza, en la torre del palacio fortificado en Furci, en las dos torres de Casalanguida.

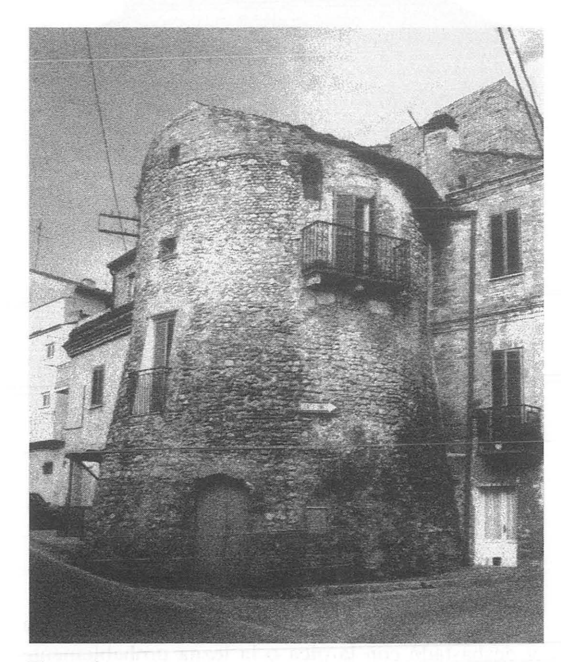


Figura 4
Casal Bordino, Trrión de calle Porta Nuova

Las piedras calcáreas compactas, perfectamente trabajadas, aplanadas y con aristas agudas están presentes sólo en pocos casos con material de acarreo. Sin embargo, a la realización de ménsulas, marcos y piezas especiales se dedican las piedras de forma particular, obtenidas a menudo con material distinto al del muro.

Dimensiones de las piezas

En la identificación de la cantera puede ser útil el factor dimensional.[4] En nuestro área, la marcada variación dimensional de las piezas, incluso las más regulares, testimonia la falta de normativas concernientes a la elaboración de la piedra. Las piedras rústicas tienen unas dimensiones muy variables; el bloque medio más empleado mide por lo general 18-20 cm de largo y 12-13 cm de alto, con un espesor que varía entre los 20-30 cm; las variaciones con respecto al promedio son importantes, aunque las piezas superan raramente los 20 kilos de peso, para poder ser levantadas y puestas en obra por un solo hombre.

Las dimensiones de las piedras en bloques se pueden subdividir en tres grupos principales. el primero comprende elementos de peso limitado, que se pueden levantar y colocar en obra con una sola mano, con dimensiones bastante constantes (aproximadamente de 18x10x15 cm) realizados en piedra calcárea y en mínima parte en arenisca.

En el segundo grupo, se pueden reunir los bloques, y esporádicas piezas recuperadas, que se pueden levantar y transportar con las dos manos por parte de un solo hombre; con un peso máximo de 20 kilos, estos elementos tienen un tamaño mediano y se distinguen por su extrema variabilidad dimensional, incluso en el interior del mismo paramento. En particular, la longitud varía, incluso con variaciones considerables, mientras que la altura, cuyas variaciones son más contenidas y varían con intervalos que van de los 4 a los 10 cm alrededor de un valor mediano de 20 cm.

El último grupo comprende bloques y piezas de peso elevado —incluso de 100 kilos—, que requieren particulares medidas para su transporte, levantamiento y puesta en obra; estos elementos tienen grandes dimensiones en particular alturas superiores a los 25 cm. Elementos de este tipo están dispuestos exclusivamente en la base de las torres, como por ejemplo en la fortaleza de Monteodorisio, en donde están presentes también en la base del lienzo, en la torre de los Celestinos, en la parte interna de la estructura muraria de base de la torre de Furci.

El ladrillo

En el condado, el ladrillo se emplea en los muros con piedras rústicas sobre todo para los recorridos horizontales, y a menudo presenta un color rojo-anaranjado y una altura media de 4 cm. La difusión más amplia de este material se encuentra en Monteodorisio, en donde predomina en el revestimiento exterior de la torre de los Celestinos del siglo XIII, y en la fortale-

za. En ella se emplea en la faja inferior de la rotonda de la torre septentrional, como motivo de decoración en espina de pez y en la parte superior encima de los picos de la torre occidental, en donde compone el motivo de pequeños arcos entrelazados con faja de gallones en la cumbre, si bien esta parte se rehizo en el siglo XVIII, en el enfoque de las aperturas de las aspilleras. También se encuentra en Casalanguida, en el marco superior de la torre en vía Porta da Capo, y en las torrecillas del palacio d'Avalos en Scerni.

El mortero

El mortero empleado en los muros de los edificios fortificados del condado está constituido por cal y áridos.

Los áridos están constituidos sobre todo por arena y áridos de machaqueo. La arena con toda probabilidad se tomó del río Sinello, al tiempo que los áridos están formados por fragmentos de piedras calcáreas y raramente por fragmentos de ladrillos.

Otros materiales

Aunque los restos de las arquitecturas fortificadas que examinamos, como hemos dicho, hoy en día están constituidos casi exclusivamente por estructuras murarias en piedra, ladrillos y mezcla, en su origen en las construcciones se empleaban también otros materiales, mayormente sujetos a deterioro o sucesivamente empleados de nuevo y, por lo tanto sólo indirectamente testimoniados por huellas muy escasas y a menudo muy difíciles de interpretar.

Es muy importante la función desarrollada por la madera,[5] aunque podía ser empleada como material de construcción en fortificaciones provisionales, como torres, recintos y empalizadas; por lo general se empleaba en el interior de una estructura muraria, para las partes dedicadas a la defensa (barbacanas y propugnáculos) o funcionales para el edificio (escaleras, recorridos pénsiles, terrazas, divisorios y galerías internas) o también como elementos estructurales (arquitrabe, trabazones, entarimados) y accesorios de acabado (conductos de instalaciones, obras provisionales, marcos para cubrir ventanas).[6]

Por supuesto han desaparecido también los demás materiales utilizados en los acabados, fácilmente deteriorables y constituidos por paja, heno, y ramas colocados en el piso por encima del acostumbrado plano comprimido de pavimentación,[7] así como todo tipo de metal, en especial el hierro, empleado para el clavado en entarimados y marcos de madera.

Tipos de muros

Muros rústicos

En el condado de Monteodorisio las estructuras realizadas con material poco acabado, como piedras rústicas, y astillas representan una característica constructiva de la zona como también de muchas arquitecturas fortificadas de los Abruzos.

Estas estructuras, bajo el aspecto constructivo, no son *insuficientes* por definición, sino que más bien requieren, por parte de los albañiles, mayor pericia para su montaje.

Al analizar algunas obras murarias de estructura irregular, se observa que dichas tipologías no presentan, por lo general, una eficacia estática menor con respecto a las estructuras más regulares, sino que son el producto de un ensamblado efectuado con una especial capacidad y competencia por parte del albañil.[8]

La dificultad a la hora de establecer una distinción cronológica es notable puesto que este aparato representa una aplicación, casi espontánea, de una práctica constructiva empleada durante largo tiempo.

De todos modos podemos reconocer, algunas tipologías con capacidad para definir, junto con una técnica particular, también una época específica de construcción, a través del análisis de algunos parámetros que definen los caracteres de las distintas obras murarias.

Clase A

Se trata de la puesta en obra totalmente irregular de los elementos trabajados como simples piedras rústicas. Sin embargo, la aparente sencillez de la estructura no se corresponde con una practicidad de construcción, de tal manera que esta tipología no está muy difundida en el área que estamos tratando, en donde se intenta, en su lugar, garantizar la fijación y la regulación de las hiladas de piedras, facilitando la

puesta en obra de los andamios y la organización de la obra constructiva. A esta clase pertenecen (con material homogéneo puesto en obra en seco) aquellas obras murarias realizadas con piedras rústicas de formas y dimensiones distintas; algunas veces estas piedras se trabajan en forma regular para garantizar una mejor transmisión de las cargas y en algunos casos (Furci: lado interno de la obra muraria de base), están acompañadas por un número reducido de astillas de piedras (figuras 5-6).

Los elementos de mayores dimensiones (40×30×30) cm. se alternan con piezas más pequeñas de medidas variadas, penetrando en profundidad en la pared y enlazándose mejor con el núcleo. Se podría hablar de un montaje *tridimensional* de la obra muraria, considerando el esmero que se dedica al *montaje* de las piedras de dimensiones más grandes con aquellas más pequeñas y al acodado de los empalmes. Este tipo de estructura está datado en torno al siglo XIII.

Semejante pero constructivamente distinta es la obra muraria en piezas irregulares que asocia a las piedras de río (calcáreas) algún elemento en ladrillo (grupo II) (figuras 7-8) que encontramos en el lado interno de la cortina de la fortaleza de Monteodorisio.

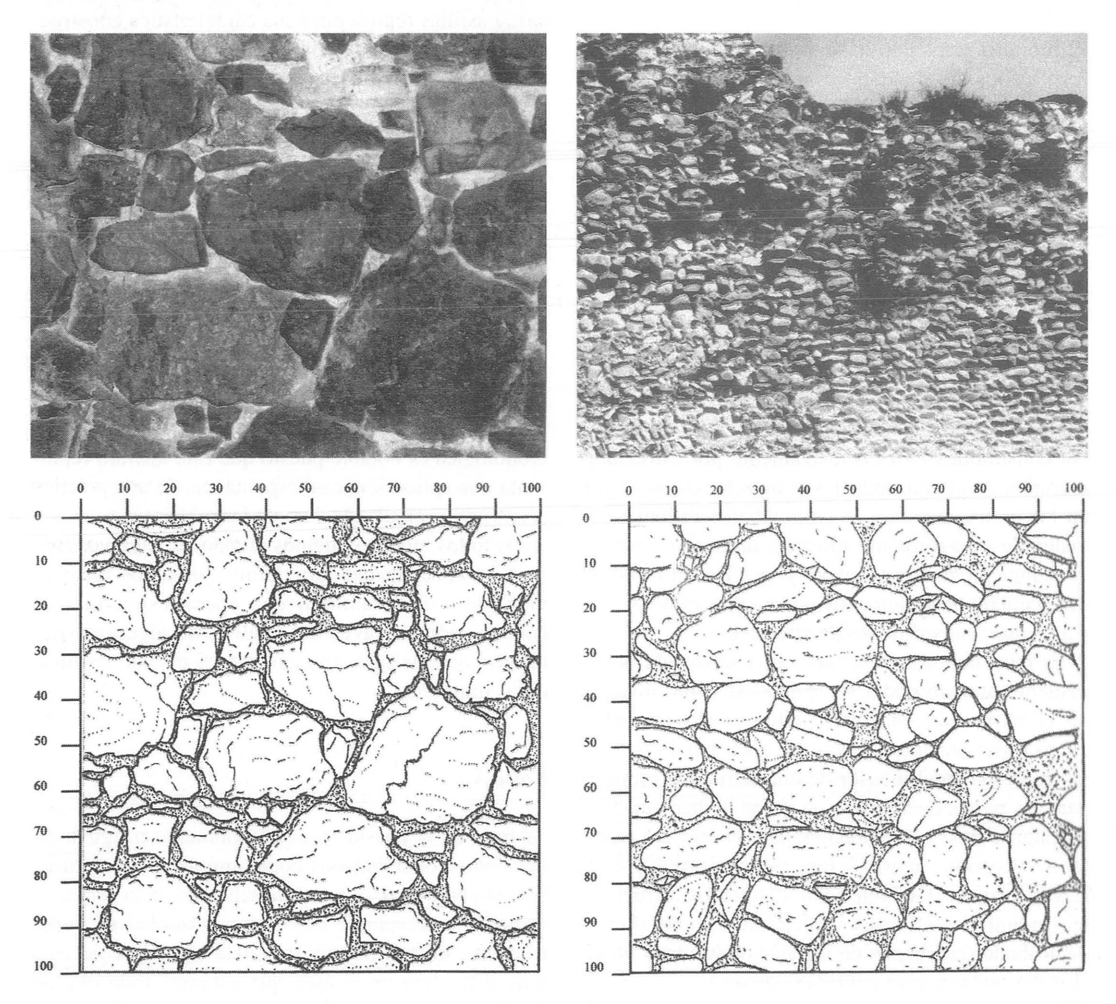


Figura 5-6
Muros rústicos: clase A, grupo I

Figura 7-8
Muros rústicos: clase A, grupo II

El empleo de fragmentos de ladrillos constituye un indicio de una datación de la obra muraria que abarca desde finales del siglo XIV en adelante.

Clase B

Este tipo de obra muraria está constituido por estructuras irregulares con inserción de hiladas horizontales.

Desde el punto de vista constructivo, la diferencia mayor con respecto a la primera tipología descrita consiste en la práctica de efectuar el reajuste de la horizontalidad de los recorridos en intervalos más o menos regulares en altura, a menudo cada 70 cm aproximadamente; dicho reajuste se obtiene con la inserción de astillas (pedriscos de río de poco espesor) y pocos fragmentos de ladrillo.

Esta tipología se encuentra en la obra muraria del edificio que está al lado de la torre en Largo Carbonara, en Monteodorisio y con mucha probabilidad se trata de un trozo de obra muraria de la ciudad. Una obra muraria como esta se puede inscribir en un intervalo comprendido entre la segunda mitad del siglo XII y mediados del siglo XIII, como se puede notar también al observar el núcleo murario ligado al lienzo (figuras 9-10).

Clase C

Consisten en estructuras en piedras rústicas en hiladas. La diferencia constructiva principal entre las obras murarias irregulares, con o sin medidas de construcción, y las obras murarias en hiladas de piedras consiste en el sistema de elección y montaje de los elementos pétreos. Un plano de terraplenado, con un cuidado especial dirigido al diseño de la estructura[9] (figuras 11-12).

De este modo, las piedras se colocan según un eje horizontal y la atención a la regularidad del tejido murario permite evitar los inconvenientes debido a la disposición irregular de los empalmes de mezcla en una o en otra parte de la estructura (figuras 13-14). El montaje en *fajas*, hace que cada trozo interno de la misma pared esté constituido aproximadamente por una misma cantidad de mortero, repartido entre las diversas hiladas de piedras, y de superficie pétrea, evitando así aquellos asentamientos diferenciales, señalados ya por Alberti,[10] que se verifican sobre todo durante el asentamiento de la construcción y derivan de la distinta capacidad de resistencia de la mezcla y la piedra. De vez en cuando, con la introducción de piedras rústicas de altura compensadora, se consigue una mayor aproximación a la horizontalidad. La mayoría de las veces la subdivisión o el empalme de las hiladas de piedras se cumple con sectores inclinados, de modo que el paramento ofrezca un diseño global movido, pero no desordenado (figuras 15-16).



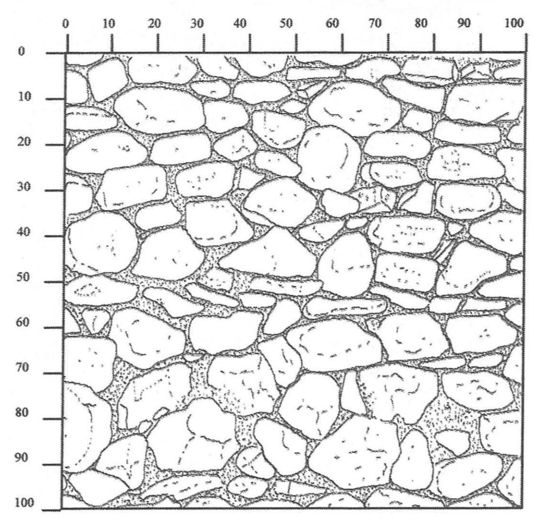


Figura 9-10
Muros rústicos: clase B

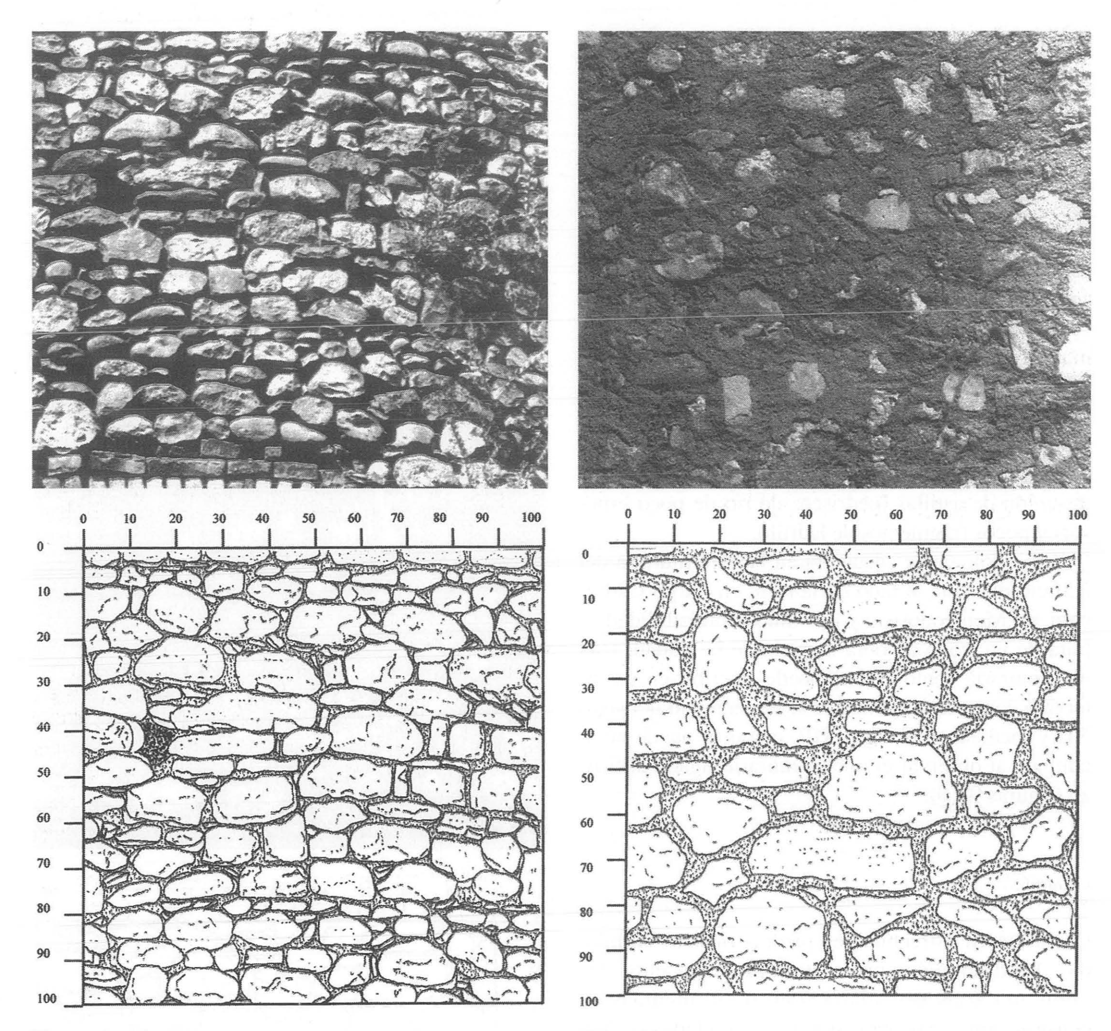


Figura 11-12
Muros rústicos: clase C, grupo I

Figura 13-14
Muros rústicos: clase C, grupo II

Notas

1. Pellati, N.: *I travertini della campagna romana*. Roma, 1883, p. 13.
2. Cfr. Gazzola, P.: «Un patrimonio storico da salvare», *Castellum,* núm. 1, 1965, p. 8; Balestracci, D.: «I materiali da costruzione nel castello medioevale, *Archeologia Medioevale,* núm. XVI, 1989, pp. 227-242.
3. Fiorani, D.: *Tecniche costruttive murali medioevali. Il Lazio meridionale*. Roma, 1996, p. 95.
4. Una clasificación del material lapídeo para la construcción en base a las dimensiones de los elementos fue realizada por Curione quien distingue a las piedras uniformes (desde el volumen inferior a 0,002 metros cúbicos), en piedra común, en piedra tallada y no tallada, en bloque de primera, segunda, tecera, cuarta y quinta especie en base al volumen efectivo y aquél que pierde después de la elaboración. Cfr. Currioni, G.: *L'arte di fabbricare ossia corso completo di istituzioni teorico-pratiche per gli ingegneri, per gli architetti, pei periti in costruzzioni e pei periti muratori*. Torino, 1872, vol. IV, pp. 27-28.
5. Cfr. Settia, A. A.: «La struttura materiale del castello nei secoli X e XI», *Castelli e villaggi nell'Italia padana.*

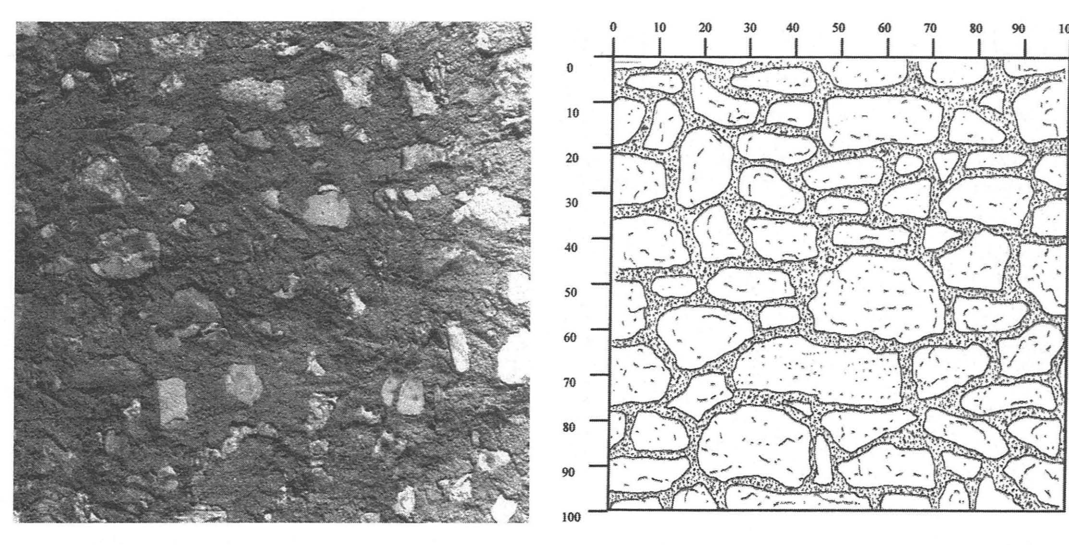


Figura 15-16
Muros rústicos: clase C, grupo III

Popolamento, potere e sicurezza fra IX e XIII secolo, Napoli, 1984, pp. 189-246.

6. Donati, P.: *Legno pietra e terra.* Firenze, 1990, p. 48.
7. Cassi Ramelli, A.: *La impresa edilizia. Ricerche sulle origini e lo sviluppo nei secoli.* Milano, 1968, p. 263.
8. Mannoni, T.: «Archeologia della produzione», *Archeologia e restauro dei monumenti,...*. Certosa di Pontignano-Siena, settembre— ottobre, 1987, Firenze, 1988, pp. 403-420.
9. Fiorani, D.: *Tecniche costruttive murali medioevali. Il Lazio meridionale.* Roma, 1996, p. 129.
10. «Una regola fondamentale da osservare: una volta iniziato un filare di pietre, esso va poi proseguito nell'intera costruzione, uguale e senza varianti, evitando che in una parte la struttura consti di pietre grandi, in un'altra di pietre piccole. Dicono infatti che essa, con l'aggiungervi ulteriore peso, si comprime, e la calce, premuta mentre sta seccando fa minor presa; donde conseguono lesioni nel muro». Alberti, L.B.: *De re aedificatoria.* 1485, trad. it. *L'architettura.* Libro III, cap. VIII, Il Polifilo, Milano, 1966, p. 204.

Sistemas de encimbrado y apeos en la Restauración Monumental española durante el siglo XIX

José Mª Calama Rodríguez
Amparo Graciani García

El proceso de construcción exige una manipulación física de los materiales para que vayan conformando el elemento constructivo y adopten una forma concreta en el lugar específico del edificio. Esta serie de prácticas constituye la esencia de la técnica edificatoria y, en ocasiones, precisa de recursos auxiliares para la ejecución en función del tipo y la forma del material de que se trate.

En el caso de las técnicas constructivas de cantería y albañilería, los materiales previamente conformados, se unen dando lugar al elemento constructivo de mayor tamaño y cuyas características formales y funcionales pueden ser radicalmente diferentes a las piezas elementales.[1] Para conseguir la unión o ensamblaje de las piezas, son precisos los medios auxiliares que soporten, de forma provisional, los pesos y las tensiones que se producen durante la construcción, en tanto el elemento constructivo, bien por la necesidad de trabazón de sus componentes o de endurecimiento del conglomerante que los una, adquiere la capacidad portante propia.

Estos elementos auxiliares, como apeos y cimbras, eran conocidos y empleados en construcción desde la Antigüedad, aunque en las culturas egipcia y mesopotámica su uso fuera poco frecuente debido, entre otras cuestiones, a la escasez de madera.[2] Sin embargo, fueron sistemas auxiliares básicos en la técnica de construcción romana. Aunque desde la construcción romana hasta la altomedieval se mantiene la herencia clásica en el empleo de los medios auxiliares de construcción (siendo de destacar únicamente los nuevos métodos de elevación de cargas pesadas que se empezaran a desarrollar a partir del siglo XII[3]) en síntesis, estas novedades no afectan en demasía a los sistemas de cimbras y apeos.

Su consideración de medio auxiliar que no queda incorporado a la construcción, hace que las cimbras, con el perfil adecuado al arco al que deben servir de soporte provisional, se diseñae a partir de elementos sencillos pero suficientemente resistentes, empleando para ello sistemas triangulados de celosía, de manera que garanticen su indeformabilidad ante el peso y las acciones de la construcción, con una economía de medios. Cuando los arcos o bóvedas no son de grandes luces, un solo triángulo organiza el entramado estructural y, si la luz aumenta, la subdivisión en triángulos también lo hace, organizando una verdadera cercha sobre la que se apoyará el manto que dará soporte a las dovelas (figura 1).

El empleo de estos sistemas auxiliares, no sólo ha condicionado, en múltiples ocasiones, el proceso constructivo a seguir, sino que ha influido incluso en la elección tipológica de los sistemas estructurales. Los romanos llegaban incluso a realizar los diseños arquitectónicos de algunos elementos, teniendo en consideración el proceso de construcción a emplear; así, practicaban unos salientes, a modo de cornisas o impostas decorativas, en la última hilada horizontal del muro (figura 2), que a su vez servía para el apoyo de la cimbra.[4] También se llegaba a planificar el proceso constructivo a partir del análisis de la conveniencia de emplear una sola cimbra para ejecutar las

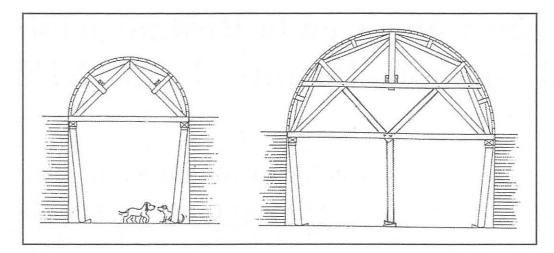


Figura 1
Cimbras romanas (P. Adams).

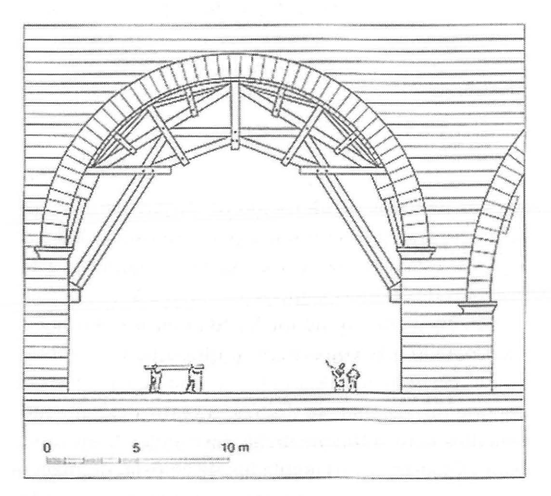


Figura 2
Cimbras sobre impostas (P. Adams).

roscas del arco y desplazarla para construir la siguiente, con el consiguiente ahorro de material, o si interesaba conformar cimbras completas para todo el espesor de la fábrica y poder, de este modo trabar las distintas roscas de los arcos, construyendo una verdadera bóveda.

La etapa de construcción de las grandes catedrales góticas y especialmente algunos arquitectos de los siglos XV y XVI, aportaron nuevas soluciones de acuerdo a las necesidades que surgieron de las magnas construcciones.[5] No obstante las soluciones se fundamentaban en diseños sencillos, al estar limitadas las dimensiones de las piezas de madera. Así, por ejemplo, la técnica utilizada para la construcción de arcos de medio punto se hizo extensiva a los arcos apuntados, a pesar que el comportamiento estructural de uno y otro diferían, especialmente, en cuanto a las zonas débiles o reforzadas, de ambos (figura 3). En otras ocasiones, el verdadero problema constructivo era la organización de los medios auxiliares que permitiesen acometer las arriesgadas soluciones arquitectónicas, como ocurría con las construcciones góticas que precisaban enormes entramados para salvar las alturas de los arcos torales y las bóvedas.

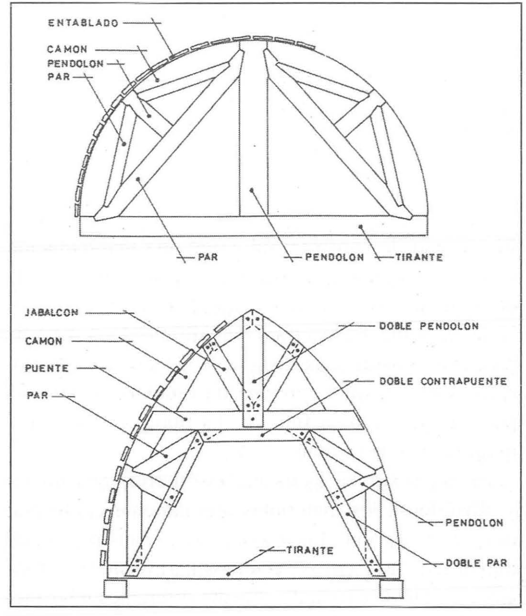


Figura 3
A) Cimbra para arco de medio punto; B) Cimbra para arco apuntado.

En el caso de la intervención sobre edificios construidos, el empleo de cimbras y apeos adquiere doble función, ya que por un lado permite la reconstrucción de las partes arruinadas, mientras que por otro, organiza y completa la estructura dañada estabilizando los desequilibrios originados por la ruina de alguno de los elementos estructurales.

En este sentido, durante la segunda mitad del siglo XIX se produjo en España un impulso a la restauración arquitectónica que, entre otras cosas, generó un estudio en profundidad de las técnicas constructivas del pasado. Las prácticas empleadas en la restauración de nuestros monumentos, especialmente los pro-

cesos de consolidación estructural de algunas fábricas medievales, llevaron a los arquitectos a plantear su naturaleza constructiva elemental. A partir de este sustrato teórico, los arquitectos hubieron de buscar y proyectar medios auxiliares acordes con la naturaleza de tales fábricas. En las páginas que siguen vamos a analizar algunos de las más singulares sistemas de encimbrado y apeos utilizados en los procesos de restauración monumental en España durante el siglo XIX.

El proyecto de encimbrado de Juan de Madrazo para la Catedral de León (1869-1874)

Los desordenes estructurales introducidos por los derribos de algunos pilares y la cúpula barroca del crucero, ordenados por Matias Laviña a partir de 1859, fueron los causantes de una descompensación de empujes y contrarrestos en la estructura de la catedral. La llegada a León en 1869 de Juan de Madrazo y Kunt (1829-1880) como arquitecto restaurador supuso un transcendental cambio en los planteamiento de restauración del templo. El lastimoso estado de la catedral, tras los desmontes realizados por Laviña durante el período anterior, hacían imprescindible la creación de medios auxiliares para apoyar debidamente las partes desmontadas y proceder a la reconstrucción una vez asegurada la estabilidad del edificio.

Entre los años 1869 y 1874, Madrazo elaboró un proyecto de encimbrado para las bóvedas altas de la catedral diseñados a partir del principio de elasticidad aplicado por los arquitectos racionalistas en la restauración de monumentos, que consideraban la arquitectura gótica dotada de un sabio equilibrio entre sus elementos constructivos y cuya perfección residía en la coherencia entre la forma y su comportamiento mecánico. Funcionalidad estructural y sistemas de equilibrio activo fueron principios rectores que sirvieron de base para el diseño de las carpinterías de armar empleadas como medios auxiliares en los procesos de reconstrucción de los monumentos durante la segunda mitad del siglo XIX. En esta línea, para la realización de su proyecto, Juan de Madrazo estudió los materiales utilizados en su reconstrucción, el tipo estructural general y las formas y dimensiones del templo, y todo ello lo analizó en íntima conexión con el proceso de ejecución y en relación con los medios auxiliares requeridos. Desde estos planteamientos, más que propiamente una *restauración* se desarrolló una labor de *reconstrucción.*

El impresionante sistema de encimbrado ideado por Madrazo, a modo de inmenso armazón de madera, respondía a las necesidades requeridas por el estado de semiruina que presentaba la catedral. El desequilibrio de la fábrica era evidente: los pilares encorvados no ofrecían un apoyo estable a las bóvedas, los tramos desmontados de las bóvedas habían roto el equilibrio y, descompuestas, ejercían empujes desiguales al tiempo que el deterioro o desmonte de arbotantes y botareles, en su función de contrarrestos, les incapacitaba para resistir los empujes; la ruina parecía inminente.

Las obras de cantería para la reconstrucción de las bóvedas no podían ser continuadas si antes no se aseguraba la estabilidad del sistema. Estas cimbras eran imprescindibles para contener los empujes que extendían la ruina a otras zonas del edificio. Ante la falta de apoyos que sustituyesen en sus funciones estáticas a los elementos que habían sido derribados, las bóvedas se encontraban mutiladas sin el sostén necesario.

Matías Laviña había realizado armazones de carpintería pero que no sirvieron para dotar de las entibaciones precisas al edificio. Sus armaduras eran grandes y pesadas y aprestadas sobre durmientes solo servían como andamios y simple sostenimiento vertical de las bóvedas. El sistema de equilibrio de la catedral gótica era más complejo de lo que Laviña había imaginado.

Fundamentos teóricos del sistema de encimbrado: funcionalismo estructural y equilibrio activo

El sistema de encimbrado que ideó Madrazo estaba concebido como una horma que sostuviese y entibase la catedral para permitir reconstruir las partes que se habían desmontado. Como hemos señalado, Madrazo aplicó las doctrinas racionalistas de explicación del funcionamiento del sistema gótico de Viollet-le-Duc, y ese punto de partida metodológico fue el que adoptó para plantear la reconstrucción de las partes desmontadas, en este sentido, el sistema de encimbrado es la adaptación de la armadura de madera a las con-

diciones estructurales del sistema gótico, a modo de elemento neutro aplicado a la parte activa del edificio.

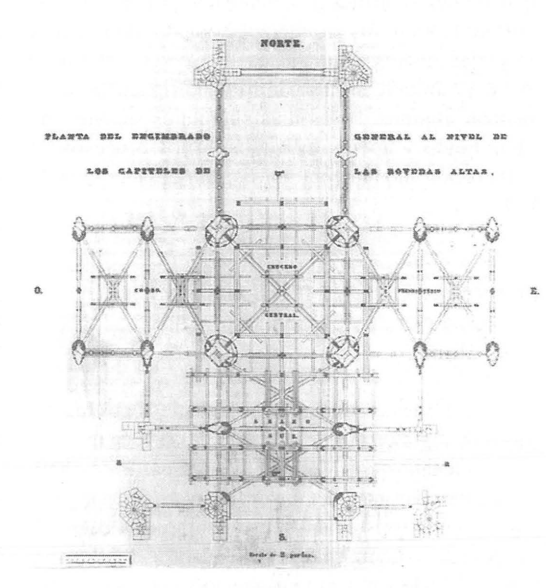
El diseño del encimbrado de Madrazo partía de la consideración del funcionamiento estructural de la fábrica, que el arquitecto consideraba dividida en tres niveles. En primer lugar una parte elástica que correspondía a la estructura formada por botareles, arbotantes, pilares contrafuertes y arcos de crucería para la formación de las bóvedas; estas fábricas desempeñaban la función activa y de ellas depende la estabilidad del edificio. El resto de la fábrica no desempeñaba función activa y Madrazo la clasificaba en «rígida», sin función activa pero que actuaba como soporte del cerramiento, y «neutra», es decir aquella que gravita sobre las crucerías (entrepaños y plementería).

Esta distinción entre partes activas y pasivas es de suma importancia para determinar el sistema de restauración del edificio y los medios de sostén y apeo de las partes arruinadas. Lógicamente, la propiamente activa, es la que debe reconstruirse en primer lugar para asegurar la estabilidad del edificio y restituir el sistema de equilibrio de la catedral gótica.

Como es natural, por su condición de medio auxiliar, el sistema de encimbrado proyectado por Madrazo fue desmontado al terminar los trabajos de cantería. Sin embargo, el propio arquitecto dejó cuatro planos de su planta, secciones transversales y algunos detalles con los pormenores de su ejecución[6] (figuras 4a y 4b). Existen, además, otras fuentes documentales; Demetrio de los Ríos fue el autor de unos modelos en pequeña escala que fueron reproducidos en su monografía sobre la catedral (figuras 5ª y 5b) y Juan Bautista Lázaro realizó una interesante descripción del mismo, que fue publicada en 1886.[7]

Función y construcción: adaptación de las cimbras a los tipos estructurales del edificio gótico

Una de las aportaciones del sistema auxiliar proyectado por Madrazo fue su original planteamiento para tensionar los cartabones de la cimbra. El arquitecto articuló su encimbrado en función del sistema de bóvedas altas, pero no se limitaba a las carpinterías necesarias para la reconstrucción de los nervios y la plementería de estas, sino que las cimbras se aplicaron a todos los arcos relacionados con ellas, con el fin de que todos los empujes ejercidos por estos elementos, parte activa de la estructura, fueran correctamente



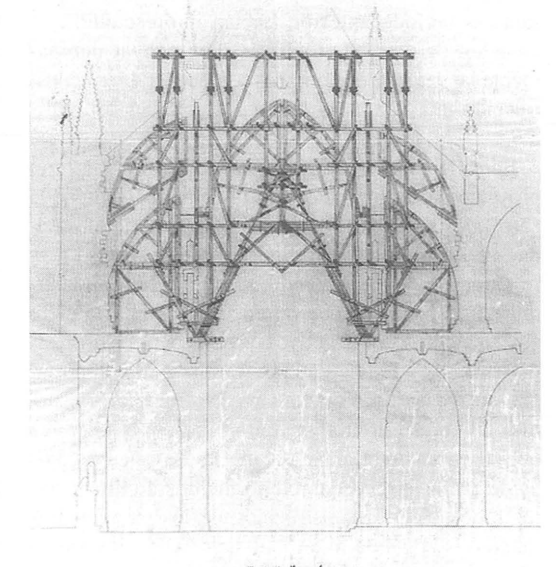
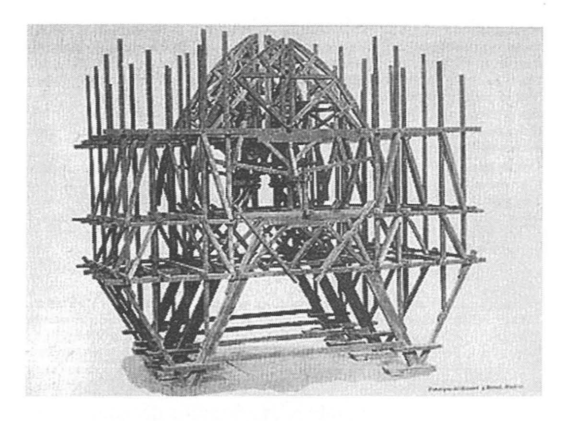


Figura 4
Proyecto de encimbrado de Juna de Madrazo para la catedral de León; A) Planta; B) Alzado.



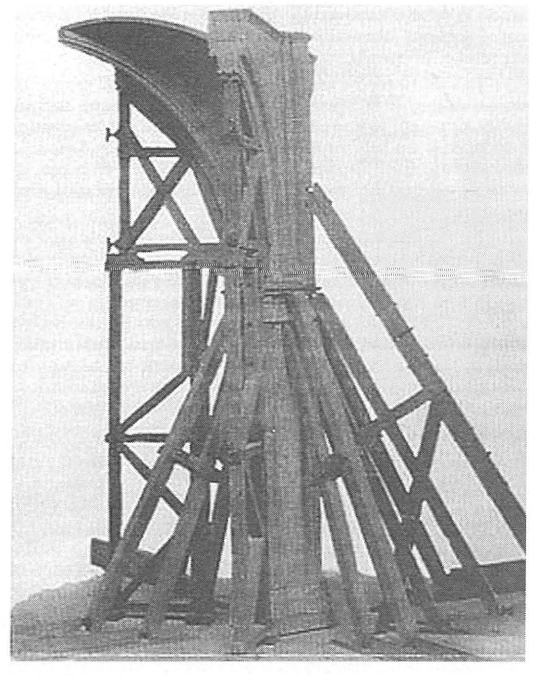


Figura 5
Modelo de apeo y encimbrado de Madrazo, según maqueta de Demetrio de los Ríos.

transmitidos al punto de apoyo, es decir a los pilares en el interior del edificio y hacia los botareles exteriores a través de la acción ejercida por los arbotantes en su doble función de transmisores de empujes y contrarrestos. Para ello, Madrazo comenzó por reconstruir los botareles, considerados elementos indispensables para asegurar la estabilidad de las bóvedas.

Su proyecto de encimbrado estaba sustentado en el modelo *teotérico* de explicación del funcionamiento mecánico del sistema de equilibrio activo de la catedral gótica. Este sistema aplicado por Viollet-le-Duc es concebido como «un sistema deducido desde arriba», ésto es, una vez concebida la disposición de las bóvedas, el resto de los sistemas de apoyo y contrarrestos se deduce lógicamente. Un proceso de restauración de la magnitud de la catedral de León, con varios tramos de bóvedas desmontados, exigía la íntima comprensión del mecanismo de función de la bóveda de crucería para la eficaz consolidación y restauración de la totalidad de la estructura.

El sistema de contrarrestos entre los arcos es de especial importancia para asegurar el equilibrio estructural. Cada tipo de arco empleado en la construcción presenta un sistema de contrarresto en función de la acción mecánica que desarrolla. Los arcos que componen la bóveda del crucero, los arcos torales directamente y los diagonales indirectamente o por descomposición de fuerzas se contrarrestan en sus empujes por los arcos formeros de las naves altas que se encuentran en cada una de las cuatro prolongaciones del crucero, es decir, los formeros de la nave, del presbiterio y de los brazos del crucero.

Por estas causas, el sistema de encimbrado diseñado por Madrazo tenía una doble dimensión. En principio, y en su consideración global, suponía una adaptación al sistema de bóvedas de la catedral; pero en su aspecto constructivo más concreto, el sistema de encimbrado se adaptaba al tipo especial de arco apuntado que componen las bóvedas. Es decir, hay una doble adaptación interrelacionada y definida por dos tipos estructurales activos del edificio gótico: la bóveda de crucería compuesta por nervios y plementos y los arcos apuntados que componen esta bóveda como sus elementos activos que sustentan estos rellenos y actúan como transmisores de los empujes a los puntos de apoyo. La reconstrucción de las bóvedas debía comenzar por la construcción de los arcos y por eso esta segunda dimensión del sistema de encimbrado, que atiende a los arcos, es inseparable y dependiente de la disposición general de la bóveda, puesto que los arcos forman el «esqueleto» efectivo de sillería en tales bóvedas.

En el caso de la catedral de León, los cuchillos y las cimbras se realizaron para sostener, durante su construcción, racimos de arcos apuntados y por tanto compuestos de dos ramas que se tornapuntan mutua-

mente en una junta vertical y no en una clave —de la que carecen— a excepción de los diagonales, que la tienen porque se cruzan. Esta característica constructiva de los arcos apuntados determina que tienen mayor tendencia a subir por su coronación que a bajar después del su descimbrado, aspecto que tuvo muy en cuenta Madrazo ya que fue vital para determinar una de las cualidades principales del sistema. En palabras del propio Madrazo:[8]

> «...lo que hay que hay que preparar, más bien que un sistema de encimbrado propiamente dicho, es un sistema en rigor de entibaciones o acodalados, un sistema destinado principalmente, y como punto de vista casi exclusivo, a neutralizar los empujes horizontales, y que realice los efectos de aprestamiento (mero temple) y aflojamiento, con tanta mayor sensibilidad cuanto más bajo esté el punto del arco sobre el que se opere.»

Además del proyecto con los sistemas de montaje y descimbrado, Madrazo elaboró un apéndice al proyecto con los cálculos de los empujes previstos y en el que incluyó la resistencia de las cimbras. En sus dibujos (figura 6) representó los vectores de descomposición de las fuerzas de un arco toral del crucero y la aplicación de la cimbra correspondiente. El gráfico

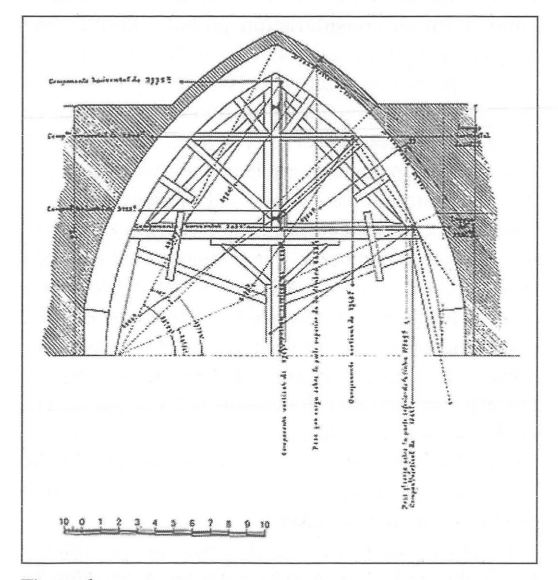


Figura 6
Catedral de León. Cálculos de la cimbra para arco toral. Juan de Madrazo, (1875).

muestra la doble presión horizontal y vertical ejercida por el arco, acorde con la definición general del arco apuntado que él daba en la memoria del proyecto, como «dos ramas que se tornapuntan mutuamente en una junta vertical».[9]

Esta propiedad del arco apuntado considerado en su forma genérica lleva a Madrazo a considerar su proyecto de encimbrado, como hemos indicado, como un sistema de entibaciones neutras y rígidas capaces de neutralizar los empujes horizontales. La consecuencia es que el tipo de cimbra que propone está organizada a partir de un sistema de apriete y aflojamiento lateral o de costado (en lugar de cómo hasta la fecha se estaban empleando de adaptación inferior o en vertical) y dos medias cimbras que se van juntando, o separando, según el eje vertical.

Desde esta característica común, las variedades se presentan, por una parte, en función de su adaptación a los arcos torales y, de otra, a los distintos sistemas de apoyo utilizados para sostener las cimbras.

Para establecer los encimbrados a la altura de 22 metros, Madrazo se sirvió de varios métodos de apoyo. En primer lugar, estableció los arranques de los racimos de cimbras sobre los capiteles de los pilares; aquí se planteó el problema de que los capiteles sólo ofrecían ocho centímetros de vuelo, base insuficiente para poderles confiar el apoyo de las cimbras, por lo que Madrazo decidió realizar un *encinchado* en la parte superior de los capiteles que, como apriete de todas las esperas de cimbras que arrancaban de cada pilar, ofreciera una sólida fundación a la carpintería.

Para los apoyos restantes ideó dos sistemas. En primer lugar levantó las cimbras sobre apoyos verticales fundados sobre el pavimento; este sistema lo empleó en el crucero que ofrecía un pavimento resistente. Pero en el brazo sur el pavimento estaba «minado» por sepulturas y no ofrecía un firme estable para las cimbras y en los tramos de la nave principal se encontraba la sillería del coro, por lo que Madrazo ideó un impresionante sistema de armaduras transversales colgadas que estribó a la altura del triforio de la catedral.

Los requerimientos funcionales del sistema de encimbrado se completaban además con otros servicios prácticos que debían cumplir para facilitar la reconstrucción de las partes superiores del edificio, como era su utilización como paso de andamiajes para los operarios y de castillete para la elevación y transporte de los materiales, que no sólo se limitaba a los reque-

ridos para las bóvedas sino también a los utilizados para la coronación de hastiales, reposición de cornisas, balaustradas y pináculos de la parte superior.

Además, el sistema de encimbrado aseguraba el fácil desencimbrado de todas las carpinterías una vez terminados los trabajos de reconstrucción de bóvedas y partes superiores del edificio.

Proceso de construcción del encimbrado

Como se ha indicado, el desmonte de varios tramos de bóvedas fue la consecuencia inmediata del derribo de la cúpula central del crucero efectuada por Matías Laviña. Todos los tramos de la bóveda inmediatos a la cúpula se resintieron necesariamente a falta de contrarrestos. En el plano de planta de la cimbra de Madrazo (ver figura 4.a) se muestran los tramos de bóvedas que comprendía esta fase de encimbrado y que correspondían a dos tramos de bóveda del este y oeste del crucero central, los dos correspondientes al brazo sur del transepto y la bóveda central del crucero, es decir, los tramos de las bóvedas desmontadas; a estas bóvedas, añade la segunda de la nave principal sobre el coro y la segunda del presbiterio, como tramos en estado de ruina.

El orden de ejecución del encimbrado respondía a la misma lógica que el de reconstrucción de las bóvedas, es decir, venía establecido por la división entre «partes que sostienen» y «partes sostenidas» Se comenzó por el castillejo central del crucero y por los cuchillos sobre los triforios (como partes que sostienen) y a éstos siguieron las cimbras para toda clase de arcos de las partes sostenidas, empezando por los arbotantes, los arcos principales, torales y formeros (como principales) y concluyendo por los diagonales.

Una vez extendido el encimbrado a todas las bóvedas altas de la catedral, quedaba únicamente proyectar el correspondiente al ábside. La destitución de Madrazo como Director de las obras de restauración, en octubre de 1879,[10] motivó que este proyecto se demorase hasta que se hizo cargo de las obras Demetrio de los Ríos.

El encimbrado de Demetrio de los Ríos para el ábside de la Catedral de León (1879)

Demetrio de los Ríos completó y extendió el encimbrado de las bóvedas altas al ábside que, aunque básicamente era igual en concepción a las carpinterías proyectadas por Madrazo, por sus especiales características requirió la elaboración de un proyecto específico; la principal diferencia consistía en la necesidad de adaptar la carpintería a la estructura del ábside, algo distinta al resto de las bóvedas. Otras diferencias con respecto al resto de las cimbras que proyectó Madrazo fueron debidas a la supresión de los sistemas de refuerzo y zunchado de almas para los andamios y los necesarios tornapuntas y sopandas de plataforma en que descansaban los cartabones, motivado por la mayor distancia que debían tener las cerchas. Este encimbrado se componía básicamente de dos cuchillos que sujetaban una plataforma sobre la que descansaban cuatro cartabones correspondientes a los arcos de ojiva (figura 7).

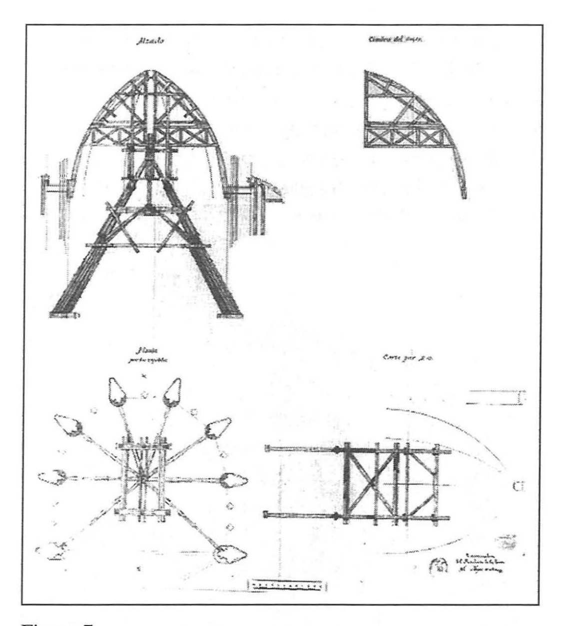


Figura 7
Catedral de León. Cimbras para el ábside. Demetrio de los Ríos (1880).

Otros encimbrado y apeos

El método seguido por Madrazo para la restauración de la catedral de León, en directa aplicación de las doctrinas racionalistas de explicación del funciona-

miento del sistema gótico, llevadas a su más acabada elaboración por Viollet-le-Duc, se planteó con pretensiones de constituirse en una *ciencia de la arquitectura* de validez universal. Los procesos de restauración llevados a cabo en España durante la última mitad del siglo XIX (y principio del XX), se convierten en un interesante campo de experimentación y demostración de los principios racionales sobre los que se asienta la arquitectura gótica.

El conocimiento preciso y detallado de estos sistemas constructivos entronca con las aspiraciones de algunos arquitectos de organizar un estudio sistemático y racional de los estilos arquitectónicos de la Historia, que posibilitara la intervención sobre edificios del pasado con suficiente garantía de fiabilidad, más allá de las primeras evocaciones sensibles y pintorescas del primer romanticismo. Los edificios desmontados, podrían volver a ser montados, siguiendo lógicas diferentes, deducidas de su propio sistema constructivo. Los distintos sistemas arquitectónicos se configuran en su evolución histórica como la consecuencia, aplicación y el desarrollo de los nuevos principios constructivos.

Dentro de este marco teórico, Madrazo se aproximó a la reconstrucción de la catedral de León a través del análisis de los principios arquitectónicos que gobiernan su estructura. La exposición de estos principios fue asumida y seguida, como hemos visto, por otros arquitectos, entre otros, su predecesor en León, Demetrio de los Ríos.

Encimbrados y entibaciones de Adolfo Fernández Casanova para la Catedral de Sevilla (1882-1888)

Otro de los arquitectos que siguieron la estela de Viollet y adoptaron las técnicas de Madrazo fue Adolfo Fernández Casanova. El arquitecto restaurador de la catedral de Sevilla tuvo conocimiento directo de las actuaciones de Juan de Madrazo en la catedral de León, lo que motivó una dependencia metodológica en los planteamientos empleados para reparar los arcos y las bóvedas dañadas de la catedral sevillana.

Fernández Casanova diseñó, entre 1882 y 1884, un complejo sistema de encimbrado y entibaciones que, al igual que en el caso de León, se mostraba como un seudo edificio de madera cobijando al pétreo. El complejo sistema de carpintería de armar estaba adaptado a las condiciones estructurales del edificio y contaba, al igual que en caso de la catedral de León, con un sistema de husillos para desplazar la cimbra del arco apuntado con movimientos de costado, a la vez que tensionaba los cartabones de la cimbra, neutralizando así los empujes fundamentales del arco ojival en la zona de los riñones del arco, donde estos son superiores en intensidad. Como en el caso de León, el encimbrado de Fernández Casanova también estaba diseñado a partir de la composición de dos medias cimbras para conformar el conjunto del soporte del arco.

Sin embargo, el método empleado por este arquitecto aportó dos novedades al de Madrazo. En primer lugar el sistema de elevación, denominado «de temple» o vertical, de manera que la cimbra se construía en la base y se iba elevando a partir de la incorporación de los pies derechos, los cuales, en este proceso, eran sucesivas y convenientemente arriostrados. En segundo lugar, el diseño de la triangulación de la celosía de la cimbra, conseguía que todas las cargas remitieran a las líneas de arranque de los arcos transversales, a través de tres grandes vigas armadas de ejes paralelos, sostenidas por un apoyo central, en unos casos, y por apoyos adosados a los pilares y fuertemente arriostrados entre sí.

Estas estructuras provisionales fueron prácticamente destruidas a causa de la caída del cimborrio de la Catedral sevillana el 1 de agosto de 1888; no obstante, se conocen gracias a las fotos tomadas del desastre y a los planos dejados por Joaquín Fernández Ayarragaray (figura 8),[11] sucesor de Fernández Casanova en el cargo de arquitecto director de las obras de la Catedral hispalense, a raíz de su dimisión en 1889, y verdadero artífice de la reconstrucción del cimborrio. Fernández Ayarragaray emplearía apeos y encimbrados completamente análogos a los de su antecesor. En su proyecto de 1890 dejó perfectamente diseñados los distintos modelos de carpinterías de armar empleados en cada tramo de la bóveda y un magnífico plano de la sección transversal por el eje del crucero.

Apeos y encimbrados de Enrique Mª Repullés y Vargas para San Vicente de Ávila (1885)

Aunque el sistema estructural de abovedamiento de la arquitectura románica no tenga nada que ver con la

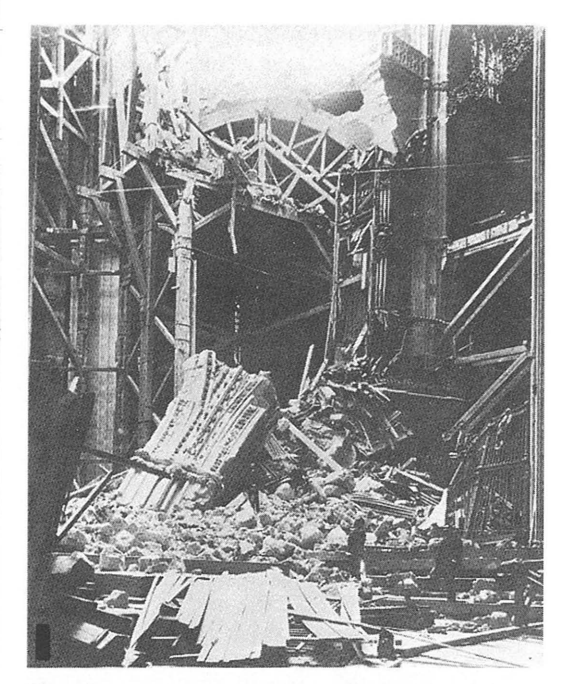


Figura 8
Catedral de Sevilla. Caída del cimborrio (1888).

crucería gótica, algunos arquitectos restauradores del siglo XIX español, contemplaron el estilo románico desde la perspectiva de la teoría violletiana, como un ensayo en el que el sistema estructural habría de concluir en el gran momento constructivo gótico, produciéndose unas interesantes reflexiones sobre la amplia naturaleza arquitectónica de las fábricas románicas.

Esta teoría llevó a que algunos arquitectos restauradores encontraran los puntos débiles del sistema constructivo románico, a partir de las deformaciones y rupturas que experimentaban los edificios sobre los que se intervenía, llegando a diagnosticarse la patología estructural más frecuente padecida por las fábricas románicas, que no es otra que el desplome de los pilares y muros como consecuencia de la ruptura de arcos fajones en su clave (hacia el interior) y los riñones (hacia el exterior) con la consecuente dislocación de los arcos colaterales.

Precisamente este planteamiento violletiano de la elasticidad en el edificio románico, fue la base para que también en la restauración arquitectónica monumental de este período se emplearan medios auxiliares diseñados a partir de la metodología introducida por Juan de Madrazo. Nos estamos refiriendo concretamente a la restauración de la Basílica de San Vicente de Ávila.

La parte más antigua de este edificio está realizada en estilo románico-bizantino y corresponde a la cripta, los tres ábsides, los brazos del crucero, varios pilares de las naves del templo, los muros laterales y las portadas norte y sur; pero los arcos torales del crucero, la torre del cimborrio y las bóvedas que cubren la nave central, presentan claves estilísticas y constructivas de la arquitectura gótica.

La dirección de Enrique María Repullés y Vargas en las labores de restauración del templo abulense, a partir de 1885, marcó una etapa de reintegración estructural de este edificio, cuyo crucero de base octogonal, fue uno de los primeros góticos construidos en nuestro país.

Repullés, que llegaba a San Vicente precedido de una fecunda actividad profesional en Toro, Salamanca y la misma Ávila, dentro de la más pura línea de intervención violletiana, se enfrentó a los problemas graves de reintegración estructural del edificio. Para hacer frente a estos problemas que originaban la consiguiente pérdida de estabilidad del templo, el arquitecto realizó un minucioso estudio de los arbotantes añadidos en el siglo XV, los cuales suponía eran los causantes, por su excesivo peso, de los desplomes que habían llevado a la ruina el cuarto tramo de las bóvedas laterales.

Para equilibrar los empujes, en tanto procedía a desmontar de los arbotantes y parte de las bóvedas, construyó un entramado de apeos y cimbras a partir de las curvas de presiones introducidas por los empujes de las bóvedas, que calculó mediante estática gráfica, y cuyos elementos presentan características muy similares a los utilizados en 1874 por Madrazo en la catedral de León. Los cuchillos del castillejo estaban compuestos, al igual que en León, por un sistema de tornapuntas encepadas y arriostradas en varios puntos de su altura, sistema que se completa con los cuchillos de almas y puentes del andamio.

Sin embargo, debido a las características del templo de un estilo de transición, la cimbra del arco fajón (figura 9) que separa los dos tramos de la bóveda, se compone de dos partes distintas. En la parte inferior, Repullés dispuso de un acodalamiento que arrancaba de los apoyos sobre el pavimento y que no se correspondía con la línea de nivel de los capiteles

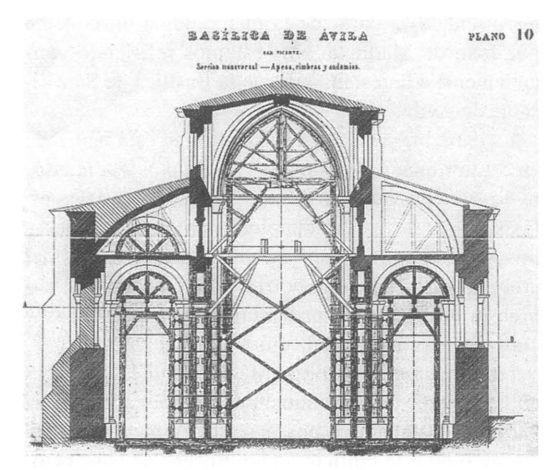


Figura 9
Enrique M.ª Repullés y Vargas. Apeos, cimbras y andamios de San Vicente de Ávila (1889).

y, en la superior, dos medias cimbras que se oprimían de costado y a las que el arquitecto añadió unos tensores situados en la línea de arranque del triforio.

Además, hubo de reforzar con entramos especiales, en los que dispuso un sistema de husillos para tensionar las naves laterales, al no contar con una estructura de arbotantes y botareles adecuadamente dispuestos para el contrarresto de los empujes de la bóveda.

Apeos y andamiajes de Demetrio de los Ríos para la fachada de la Catedral de León (1888-1889)

Sin la singularidad de los ejemplos anteriores, pero en la línea del desarrollo de los medios auxiliares en apoyo de la restauración diseñados a partir de la teoría de la elasticidad de los sistemas estructurales de las construcciones medievales, tenemos como últimos ejemplos los sistemas de apeos y andamiajes empleados por Demetrio de los Ríos, para la fachada de la catedral de León y de Vicente Lampérez y Romea en la catedral de Cuenca.

Las gigantescas carpinterías levantadas por Demetrio de los Ríos en apenas seis meses (de agosto de 1888 a enero de 1889) para desmontar el hastial de la fachada occidental de la catedral fueron calificadas por el propio arquitecto[12] como «el más elevado de cuantos andamiajes se han erigido en este templo y uno de los mayores de cuanto en nuestros días se han acometido». La experiencia adquirida en el terreno de las carpinterías de armar después de haberse encimbrado la totalidad el edificio facilitó la rápida construcción del andamiaje (figura 10).

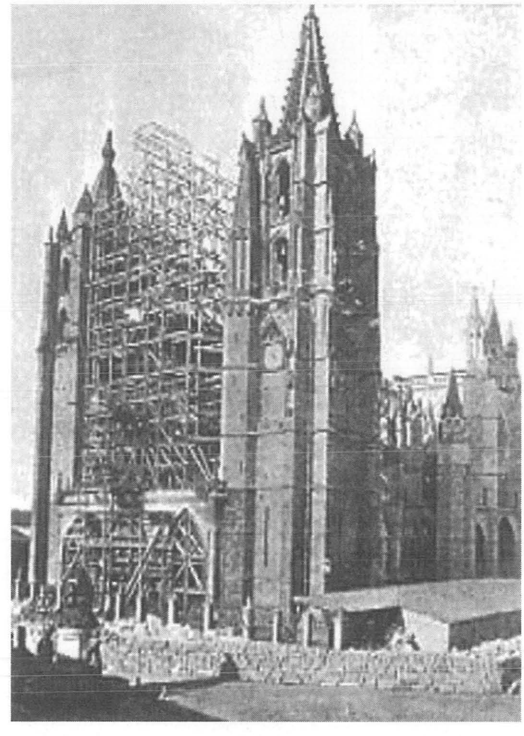


Figura 10
Demetrio de los Ríos. Andamiaje para el desmonte y reconstrucción del hastial occidental de la catedral de León (1890).

Su función no era únicamente la de posibilitar el desmonte del hastial desde su coronamiento hasta la galería del triforio, sino que también debía sostener el hastial debido a que la ruina era progresiva. Para esta función se adoptaron dos triples y enormes puntales de una longitud de casi treinta metros que contenían las torres laterales de caracol, de manera que, una vez descargadas las pilas, el muro intermedio de la zona superior se desplomara. Asegurada la estabilidad del hastial por medio de etos enormes puntales

y de las cimbras que sujetaban los arcos del pórtico, se levantó el andamiaje desde el nivel del suelo hasta la coronación del hastial, alcanzando una altura de casi cincuenta y cuatro metros. Todo el maderamen se apoyaba en los costados de las torres laterales y en el encimbrado interior, compuesto por más de quince cimbras para los arcos del pórtico, los del interior del templo y el gran arco del hastial.

El desmonte del hastial fue una impresionante operación que apeó, desde esa altura, pesados y voluminosos cuerpos como eran los chapiteles de remate del hastial.

Apeos y andamiajes de Vicente Lampérez y Romea para la Catedral de Cuenca (1888-1889)

El 30 de abril de 1903 se encargó a Vicente Lampérez la reparación de la Catedral de Cuenca, declarada *Monumento Nacional* el 27 de agosto de 1902. La restauración se planteaba tras el trágico hundimiento de la torre de las campanas que, además de haber dejado en estado de ruina toda la parte alta de la fachada, se desplomó sobre varias personas que se encontraban en sus inmediaciones.

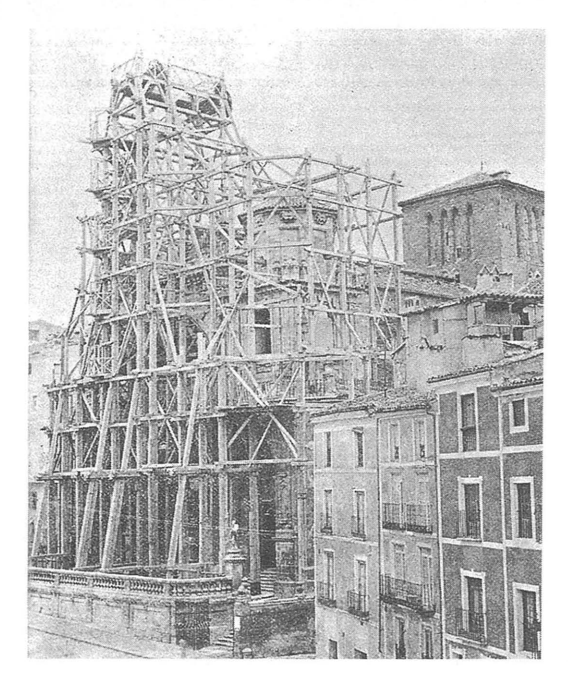


Figura 11
Vicente Lampérez. Apeo de la fachada de la catedral de Cuenca (1907).

Siguiendo el hábito de los restauradores, Lampérez aprovechó la oportunidad de las obras para estudiar estilísticamente la Catedral, contribuyendo a fijar las influencias de estilo que, según él, era el único ejemplar en España de gótico anglo-normando.

Para practicar las correspondientes reparaciones, Lampérez hubo de apear la linterna del crucero, que fechó entre los siglos XIII y XIV y que estaba dislocada a causa de que había sufrido varios incendios. A tal fin, ideó un sistema de andamiaje tan impresionante como el de León, aunque de características diferentes, ya que no poseía encimbrados y estaba pensado para desmontar la fachada. Para ello, se armó una plataforma en la parte superior y por medio de una máquina se efectuaba el desmontaje de chapiteles y remates del ático (figura 11). Además, el sistema de apeos estaba pensado para que posteriormente sirviera para la elevación de la nueva fachada,[13] pero la linterna se dejó para una reconstrucción posterior, ya que Lampérez quería reintegrarla en la fachada y el proyecto de la misma se dilató más de siete años.

NOTAS

1. Paricio Ansuategui, I.: *La construcción de la arquitectura. Tomo 1: Las técnicas;* I.T.C.C. Barcelona (2ª edic. 1988), pp. 45 y ss.
2. Vas Beek, G. W.: «Arcos y bóvedas del Próximo Oriente», *en Investigación y Ciencia,* septiembre, 1987, pp. 76 y ss.
3. Graciani García, A.: «Los equipos de obra y los medios auxiliares en la Antigüedad», en *La Técnica de la Arquitectura en la Antigüedad.* Universidad de Sevilla, 1998, pp. 118.
4. Adam, J. P.: *La construcción romana. Materiales y técnicas.* Ed. de los Oficios, León, 1996, pp. 186 y ss.
5. Graciani García, A.: «Los equipos de obra y los medios auxiliares en la Edad Media», en *La Técnicas de la Arquitectura Medieval.* Universidad de Sevilla, 2000, pp. 204.
6. Madrazo, Juan de: *Proyecto de encimbrado de las bóvedas altas de la catedral de León.* Doc. 2º, León 28-1-1874. A.G.A. (E. Y C.) C. 8.062, lg. 8.847; Exp. 2º.
7. González-Varas Ibáñez, Ignacio: *La catedral de León. Historia y restauración (1859-1901),* Ed. Lancia, León, 1993, pp. 180 y ss. El autor refiere un capítulo al proyecto de encimbrado, reproduiendo, además de los dibu-

jos de Madrazo, Demetrio de los Ríos y Lázaro, los elaborados por los ingenieros del ejército José Artola y Fontela y José Patiño y Mesa, que muestran distintos esquemas de cimbras, castillejos y andamios.

8. Madrazo, Juan de: «Consideraciones relativas al proyecto en general». *Proyecto de encimbrado...*
9. *Ut supra.*
10. Madrazo moriría a los pocos meses de su destitución, el 7 de marzo de 1880, acosado de una enfermedad aguda y sumamente debilitado por las pugnas y discusiones mantenidas con el Cabildo. Su reconocimiento póstumo tuvo lugar al año siguiente cuando, por su proyecto de encimbrado de la catedral, le fue concedida la Medalla de oro en la Exposición Nacional de Bellas Artes.
11. Algunas hipótesis —sin confirmar— apuntan la posibilidad de que una de las causas del hundimiento del cimborrio pudiera haber sido el exceso de presión introducido por los husillos en algunos de los apoyos de los arcos torales sobre las cabezas de los pilares, descompensando los empujes de la bóveda.
12. Ríos, Demetrio de los: *La catedral de León. Tomo II*, pp. 15-16.
13. Sobre los apeos utilizados ver los propios artículos de Lampérez y Romea, Vicente: «El triforium de la Catedral de Cuenca». *BSEE*, 1901, p. 126; «La Catedral de Cuenca», *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*, 1902, VII, p. 411, y, sobre todo, «La fachada principal de la Catedral de Cuenca», *Arquitectura y Construcción*, 1911, pp. 354-362.

Bibliografía

Adam, J. P.: *La construcción romana. Materiales y técnicas*. Editorial de los Oficios, León, 1996.

Calama, J.M. y Graciani, A.: *La restauración decimonónica en España*. Universidad de Sevilla, 1998.

Graciani García, A.: «Los equipos de obra y los medios auxiliares en la Antigüedad», en *La Técnica de la Arquitectura en la Antigüedad*. Universidad de Sevilla, 1998.

Graciani García, A.: «Los equipos de obra y los medios auxiliares en la Edad Media», en *La Técnicas de la Arquitectura Medieval*. Universidad de Sevilla, 2000.

González-Varas Ibáñez, I.: *La catedral de León. Historia y restauración (1859-1901)*, Ediciones Lancia, León, 1993.

Lampérez y Romea, Vicente: «El triforium de la Catedral de Cuenca». *BSEE*, 1901; «La Catedral de Cuenca», *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*, 1902, VII y La fachada principal de la Catedral de Cuenca», *Arquitectura y Construcción*, 1911.

Madrazo y Kunz, Juan de: *Proyecto de encimbrado de las bóvedas altas de la catedral de León*. Doc. 2º, León 28-1-1874. A.G.A. (E. Y C.) C. 8.062, lg. 8.847, Exp. 2º.

Paricio Ansuategui, I.: *La construcción de la arquitectura. Tomo 1: Las técnicas;* I.T.C.C. Barcelona (2ª edic.1988).

Vas Beek, G. W.: «Arcos y bóvedas del Próximo Oriente», *en Investigación y Ciencia*, septiembre, 1987.

Lunetas y arcos avanzados. El trazado de un elemento constructivo en los siglos XVI y XVII

José Calvo López

Hablando del problema de abrir un hueco en la superficie de una bóveda de cañón, decía Jean-Marie Pérouse de Montclos: «La cúpula octogonal de la cripta de la capilla del Palacio de Carlos V en Granada está penetrada por lunetos [...] aparentemente los primeros lunetos aparejados de la arquitectura de los tiempos modernos. [...] A favor de los franceses sólo se puede decir que el luneto español presenta durante todo el siglo XVI un trazado delgado y agudo que no es comparable al trazado amplio de los lunetos de Le Mercier».[1]

Ahora bien, durante los siglos XVI y XVII se emplean en España las dos soluciones a las que se refiere Pérouse de Montclos. El luneto «delgado y agudo» aparece con gran frecuencia en las obras del período, y recibe en las condiciones el nombre de «luneto apuntado y capialzado». La solución se basa en trazar la intersección de las dos superficies de la bóveda y el luneto como dos arcos de elipse, pero esto da lugar a una superficie reglada alabeada en el intradós de la pieza.

El luneto amplio y elegante es menos frecuente en la práctica, pero se encuentra construido en obras españolas muy anteriores a la época de Le Mercier, como la cripta y la sacristía de catedral de Jaén, el hospital de Santiago en Úbeda y el zaguán occidental del Palacio de Carlos V en Granada. Conocida en los cuadernos de cantería del siglo XVI como «Arco avanzado en bóveda», esta solución se basa en disponer un cilindro de diámetro menor que la bóveda de cañón, lo que da dos superficies de replanteo sencillo que se encuentran en una curva alabeada.

Tras estudiar los antecedentes medievales del problema, nos proponemos examinar los métodos de trazado de una y otra pieza en el tratado de Fray Laurencio de San Nicolás, en los libros de cantería de Alonso de Vandelvira y Ginés Martínez de Aranda y en el cuaderno llamado de Juan de Portor y Castro, para terminar exponiendo el empleo de ambas soluciones en un caso concreto, la bóveda en pescante de la iglesia abacial de La Mota en Alcalá la Real.

Antecedentes medievales

En el románico ibérico y francés, el problema de la apertura de huecos en una bóveda se resuelve en muchas ocasiones mediante la intersección de dos cilindros de ejes horizontales y perpendiculares, uno de mayor diámetro que corresponde a la bóveda y otro que permite abrir el hueco y termina en un arco de medio punto. La intersección de uno y otro es una curva de cuarto grado, el «luneto cilíndrico recto» de los textos de Geometría Descriptiva de los siglos posteriores.

Este concepto geométrico se materializa de diversas maneras. En el Panteón Real de San Isidoro de León la mayoría de las bóvedas sirven de soporte a los conocidísimos frescos, pero se puede observar que en las dos que no están revestidas la ejecución no fue especialmente cuidada. En la colegiata de Toro existe un arco aparejado con independencia de la bóveda, dispuesto de tal manera que las dovelas que lo forman muestran sus testas en el paramento del cañón, sobre el que se marca con claridad el trasdós del arco, interrumpiendo las juntas de intradós de la bóveda. Sin embargo, en un arco

simétrico de éste, al otro lado del crucero, el problema se resuelve de forma completamente diferente, pues las alturas de hilada del arco y la bóveda están coordinadas, de forma que las testas de las dovelas del arco son las caras de intradós de las dovelas de la bóveda; de esta manera, las juntas de intradós de la bóveda se quiebran al llegar a la arista común entre bóveda y arco, pero continúan horizontalmente en el intradós del arco.

Esta segunda solución es de gran interés si la comparamos con los ejemplos contemporáneos en otras regiones de Europa Occidental. Pérouse de Montclos señala que la solución típica del problema en el románico francés es la que viene dada por la independencia de arco y bóveda, con el trasdós del arco marcado en el paramento de la bóveda, la que él denomina «pénétration extradosée», tal como aparece en la primera solución de Toro, el claustro de la abadía de Le Thoronet, las naves laterales de Sant Miquel de Cuxà, la central de la catedral de Elna, el castillo de Loarre o la cabecera de la iglesia portuguesa de Rio Mau. Sin embargo, en el románico leonés sucede lo contrario, pues encontramos la solución de continuidad entre arco y bóveda, la «pénétration filée» de Pérouse de Montclos, no sólo en Toro, sino también en la catedral de Zamora, ligada por tantas razones a la colegiata toresana.[2]

La solución sorprende por su sofisticación, pues los tratados del siglo XVIII, como el de Frézier, resuelven el problema trazando el arco de medio punto, construyendo la arista de intersección entre los dos cilindros, y disponiendo las juntas de la bóveda de forma que se corten con las juntas del arco en la arista común. No es realista pensar que en la época en que se construyeron la catedral de Zamora y la colegiata de Toro, contemporáneas de los trazados a tamaño natural medievales más antiguos que conocemos, los de las abadías de Bylands y Jervaulx, y muy anteriores a los dibujos de proyecto del palimpsesto de Reims, se realizara un trazado o un dibujo tan complejo.[3] Es muy posible que los arcos de Toro y Zamora se construyeran presentando las dovelas de la bóveda y labrando el arco en estas dovelas ya colocadas; Leopoldo Torres Balbás planteó en su día la posibilidad de un método de construcción similar para las trompas de los cimborrios de la colegiata y la catedral.[4]

Durante el período gótico el problema desaparece prácticamente, pues apenas se emplea la bóveda de cañón. Sin embargo, algunos conceptos propios de la época tendrán un efecto apreciable en los desarrollos posteriores del problema. Como se ha repetido tantas veces, los valores de masa del románico se ven sustituidos por los valores lineales del gótico. Por expresarlo en términos geométricos, hasta ese momento la intersección de dos superficies simples, la bóveda del cañón mayor y el cañón menor que aloja el hueco, da lugar a una curva compleja, alabeada y de cuarto grado. A partir del gótico del siglo XII la situación se invierte. Dos curvas simples, un arco ojivo generalmente semicircular y un arco de círculo perteneciente a un formero o perpiaño apuntado, actúan como directrices de una superficie compleja, casi siempre una reglada alabeada. Es decir, se pasa de una situación en la que las superficies son el punto de partida y la arista de su intersección la consecuencia, a otra en la que los nervios son los datos del problema y la superficie de la plementería el resultado.[5]

Por otra parte, el trazado de la bóveda gótica se resuelve en planta; se construye la proyección horizontal de los nervios y claves por encima o por debajo de su posición definitiva, y por medio de plomadas se controla la correspondencia de la bóveda construida con el trazado. Disponemos de una descripción de este procedimiento en el *Compendio de arquitectura y simetría de los templos* de Simón García, tomada con toda probabilidad del manuscrito de Rodrigo Gil de Hontañón, de mediados del siglo XVI.[6] Quizá los métodos empleados en los siglos XII y XIII fueran más sencillos, pero todo parece indicar que la idea básica, la concepción del trazado y el control de la ejecución a partir de la planta, ya estaba presente desde el inicio de la época gótica.[7]

En la arquitectura ojival tardía surgen dos innovaciones en la construcción de bóvedas que también se verán reflejadas en las soluciones renacentistas del problema. En el siglo XIII aparece en Inglaterra la bóveda de terceletes, que vista en planta resuelve el encuentro con el arco formero con un triángulo isósceles de poca altura en comparación con la base; a lo largo del siglo XIV se extenderá por Europa continental. En el gótico español de los siglos XV y XVI las bóvedas pasan a tener un rampante apreciable; es decir, la clave polar de la bóveda está muy por encima de las claves de los formeros, frente a lo que sucede en el gótico del siglo XIII, donde la sección transversal de la bóveda a la altura del polo es prácticamente horizontal.[8]

Lunetas

El luneto reaparece en el Quattrocento italiano, en edificios como los palacios Pitti, Strozzi, Gondi y Ruccellai de Florencia, el Venezia o de San Marco de Roma, el

Piccolomini de Pienza, el ducal de Urbino, la villa medicea de Poggio a Caiano, o la capilla Sixtina, por citar algunos ejemplos ilustres, y generalmente se asocia a bóvedas esquifadas o de cañón construidas en ladrillo. Pero en este momento no se recupera la solución basada en la intersección de dos cilindros, sino que se acude a una solución intermedia entre la idea románica de superficies generadoras y la gótica de curvas directrices. La bóveda principal es un semicilindro o cuarto de cilindro, en un primer momento rebajado y ya en el siglo XVI de sección recta circular. En lugar de hallar la intersección de este cilindro con otra superficie curva, muy difícil de trazar, se emplea la intersección del cilindro con dos planos verticales oblicuos a su eje, pero simétricos respecto al eje del hueco que se pretende abrir. Estas intersecciones serán elipses si la bóveda es de cañón o elíptica, o curvas mixtas formadas por dos arcos de elipse si la sección de la bóveda es un óvalo, pero en cualquier caso su proyección en planta es una recta y es fácil trazarla a tamaño natural en el suelo para controlar la realización del luneto. Por otra parte, la albañilería ofrece la posibilidad de realizar la bóveda de cañón completa y después romperla para abrir el hueco.

El Renacimiento español recoge la solución como otras muchas procedentes de Italia, pero se emplea en su construcción la piedra tanto o más que el ladrillo. Entre los primeros ejemplos están los lunetos de la cripta del palacio de Carlos V en Granada, realizada de 1538 a 1542.[9] Se trata desde luego de ejemplos atípicos, pues no se abren en una bóveda de cañón sino en una bóveda poligonal. Pero precisamente eso acredita el dominio de esta figura, ya que los gajos de la bóveda poligonal tienen también planta triangular; podemos hablar de lunetos dentro de lunetos.

La implantación definitiva de la solución llegará con la construcción del Monasterio del Escorial, donde la figura recibe el nombre de «luneta».[10] La encontramos en toda la fábrica: en el acceso al patio de los Reyes, en el nártex de la basílica, en los patios de Palacio y de los Evangelistas. Se plantea aquí una disyuntiva que ya estaba presente en los ejemplos italianos: la sección del cilindro de la bóveda da lugar a dos elipses que se cortan en ángulo; la proyección de estas elipses sobre un plano vertical que pasa por la imposta de la bóveda de cañón da lugar a un arco apuntado, lo que es difícil de aceptar en la arquitectura clásica.[11] Por lo general, el problema se resuelve por otra vía; si el arco que se quiere abrir en el muro es de medio punto, su clave estará más baja por lo general que el punto de encuentro de las dos elipses; el luneto tendrá un rampante apreciable, como las bóvedas de crucería de la época, y recibe el nombre de «luneto apuntado capialzado», precisa denominación que aparece en las condiciones del Panteón de El Escorial.[12]

La construcción de este elemento no se expone de forma explícita en los textos españoles de cantería del siglo XVI, pero sí en el tratado de Fray Laurencio de San Nicolás, que construyó la pieza en la iglesia de Novés.[13] En primer lugar, recomienda disponer el hueco que abre luces como un arco de medio punto levantado en el plano vertical que pasa por la imposta de la bóveda y darle un diámetro igual a la mitad de la luz del cañón. A continuación, se ha de dividir la sección de la bóveda en tres partes, lo que nos da el vértice del luneto, X, y trazar una línea que une la clave del arco de medio punto, Y, con el vértice del luneto, para obtener el perfil de la figura. También se puede trazar fácilmente el alzado del luneto, pues aquí su vértice se representa por B, que está en el eje del arco de medio punto y a la misma altura que X; trazando sendos arcos de circunferencia que unan los arranques del arco de medio punto con B tendremos construido el alzado.

La clave de esta operación está en la división de la circunferencia de la bóveda en tres partes; el radio que une el eje del cañón con el vértice del luneto forma con la horizontal un ángulo de 60º, o p/3; su coseno valdrá 1/2, y por tanto, la proyección del vértice del luneto en planta distará del eje de la bóveda la mitad del radio de ésta, y se separará otro tanto de la imposta del cañón. Dado que San Nicolás recomendaba dar al hueco que abre luces un radio igual a la mitad del radio de la bóveda, la proyección del luneto en planta será un triángulo isósceles rectángulo, en el que los dos catetos formarán ángulos de 45º con la hipotenusa, esto es, la imposta de la bóveda. La ventaja de esta disposición es que las proyecciones de las dos elipses que delimitan el luneto sobre el plano vertical que pasa por la imposta de la bóveda, tales como A B, son dos arcos de círculo, puesto que el plano en el que se disponen las elipses es el plano bisector del ángulo formado por un plano perpendicular al eje de la bóveda y el plano vertical que pasa por la imposta de ésta. Por tanto, la proyección de una elipse sobre el plano vertical que pasa por la imposta será simétrica a su proyección sobre el plano perpendicular al eje, pero como ésta coincide con la sección recta de la bóveda, vendrá dada por un arco de círculo.

Hasta aquí la construcción es exacta, muy económica y muy sensata; pero San Nicolás comete un error cuan-



Figura 1.
A la izquierda luneta según Fray Laurencio de San Nicolás. A la derecha, luneta en cañón derecho según Juan de Portor y Castro

do se plantea hallar la «cimbria» o desarrollo en verdadera magnitud de A B. En primer lugar, asimila esta curva, que como hemos visto es una elipse, a un arco de círculo; esta simplificación es aceptable en la práctica y se plantea con cierta frecuencia en los textos de la cantería española del siglo anterior.[14] A continuación, Fray Laurencio toma la distancia X M y la lleva sobre la línea de impostas. A continuación añade una cuarta parte de esta longitud para obtener el punto H, traza un arco con centro en H y radio igual a H M, que será la «cimbria» buscada; para fijar su extremo, a continuación traza otro arco con centro en M y radio igual a H M; donde intersecte el anterior estará para San Nicolás el extremo de la «cimbria».[15]

Fray Laurencio hace referencia a otras soluciones menos rígidas para el mismo problema: «Otros traçan la luneta, formando de su ancho vn quadrado y de los angulos tiran cordeles, que se cruzen por la diagonal y hasta el tocamiento que hazen en la cruz, tienden la luneta. [...] mas es de aduertir, que en bobedas de medio punto sube poco esta luneta y en bobedas rebaxadas tiende mucho».[16] El comentario no es fácil de entender, pues de nuevo se forma el triángulo rectángulo isósceles al que nos referíamos antes, y la solución es esencialmente la que acabamos de explicar; pero hay que tener en cuenta que aquí no se aplica la recomendación de dar de ancho a la luneta la mitad de la luz de la bóveda, y puede suceder lo que dice San Nicolás, aunque también lo contrario.

Otras soluciones dependen del material. Si la bóveda es tabicada y no se quiere construir la bóveda completa para romperla después al realizar la luneta, será preciso construir dos cimbras en la unión de luneto y bóveda, y el trazado anterior podrá ser útil. Si por el contrario se piensa materializar la bóveda completa para abrir más adelante el luneto, San Nicolás nos propone una solución práctica tan sencilla como marcar la línea de separación entre bóveda y luneto tomando un cordel de longitud igual a la luz del arco de medio punto del luneto, fijar un extremo a **A** y marcar con el otro la línea de separación;[17] repitiendo la operación con centro en el otro extremo tendremos las dos ramas de la línea de separación entre bóveda y luneto. Una operación tan simple en apariencia equivale a hallar la intersección de la esfera descrita por el extremo del cordel con el cilindro de la bóveda. Aunque San Nicolás no lo dice, puede entenderse que el luneto en sí se obtiene después de romper la bóveda, materializando una superficie reglada que pasa por las curvas de intersección de esfera y bóveda y por el arco de medio punto que abre luces.

Cuando la pieza se ha de construir en piedra, Fray Laurencio dice que «Si fueren de canteria, guardaras el orden en los cortes que en la capilla por arista [...]».[18] Ahora bien, la «Capilla por arista» de Fray Laurencio es de planta cuadrada y los arcos que se disponen en los lados de la planta son iguales; por lo tanto la capilla viene dada por dos cilindros de igual radio y flecha, el centro de la bóveda está a la misma altura que las claves de los arcos laterales y no se plantea el problema del «capialzo» del luneto. Para encontrar una descripción clara del procedimiento de traza y labra es necesario acudir a un manuscrito posterior, el *Cuaderno de Arquitectura* de Juan de Portor y Castro, de 1703. Allí sí encontramos una «Luneta capialzada en cañón derecho» que deja bien claro cuál es la naturaleza del problema.[19]

Siguiendo a Portor, para construir esta pieza es nece-

sario trazar en primer lugar la planta del tramo de bóveda en el que se dispone el luneto, *A B C*; aunque no se dice explícitamente, en su planta las líneas de intersección entre bóveda y luneto, *D*, forman ángulos de 45º con la imposta de la bóveda, como en San Nicolás. A continuación se trazan el arco de medio punto *F* y la sección de la bóveda *E* y se reparte el dovelaje en el arco *F*.

Esta operación aparentemente trivial no lo es tanto, pues en esta pieza las juntas de lecho de luneto y bóveda se cortan en la intersección de ambas superficies, dando lugar a la disposición que Pérouse denomina «pénétration filée». Por tanto, la distribución de juntas del luneto condiciona la de la bóveda, y viceversa. En principio, puede pensarse en dividir en partes iguales el cañón, hallar su intersección con la arista y trazar las juntas del luneto desde estos puntos a los que dividen el arco en partes iguales. Pero otras veces se buscan soluciones en las que las juntas del luneto sean, no paralelas entre sí, que no pueden serlo a causa del «capialzo» de la pieza, pero sí al menos paralelas en planta, vistas desde abajo. En tal caso, es imposible que las juntas de la bóveda y el luneto estén distribuidas a intervalos regulares, por lo que es necesario optar por la regularidad de la bóveda o la del luneto.

En el nártex de la basílica de El Escorial, o en la galería baja del Patio de los Evangelistas, se escoge la regularidad de la bóveda, pero en general se disimula con habilidad la desigualdad del luneto, y sólo comparándolo con el arco formero en el que apoya se puede percibir la irregularidad. En cambio, Portor elige la regularidad del luneto, como hará años después Frézier para los «arcos avanzados», sabiendo que, precisamente por el mayor tamaño de la bóveda, las pequeñas desigualdades de las fajas inferiores pasan desapercibidas.[20]

De esta manera, una vez trazado el luneto *F*, se bajan perpendiculares desde los vértices de sus dovelas, *6*, *4*, *2*, hasta intersectar con *D*, que nos darán las juntas de lecho del luneto; a partir de estas intersecciones, se llevan líneas ortogonales que representan las líneas de lecho del cañón, y se prolongan hasta encontrar la sección de la bóveda. Como en otros trazados de cantería, Portor aprovecha las virtudes de una construcción que entrelaza intímamente alzado y planta para resolver el problema con una gran economía de líneas.[21]

A continuación, Portor pasa a reflejar el perfil de las juntas de lecho del luneto para conocer su inclinación o «capialzo». Con este fin, toma las cotas de los puntos *6*, *2*, *4*, del arco *F* y las lleva a la sección de la bóveda sobre una línea vertical que pasa por la imposta de ésta; a continuación, va uniendo cada uno de estos puntos, *2*, por ejemplo, con la junta de lecho correspondiente de la bóveda, *21* en este caso, y así sucesivamente, con lo que dispone de los perfiles que le permiten conocer la pendiente de las juntas de lecho del luneto.

Hecho esto, se plantea hallar la proyección vertical de las juntas perpendiculares a los lechos, o «despiezos». Para ello prolonga la proyección horizontal de uno de ellos, por ejemplo *G*, hasta intersectar el perfil de las dos juntas de lecho que delimitan el «despiezo» y así conocer el desnivel entre sus dos extremos, que es casi todo lo que necesita para trazar dicha junta. En efecto, Portor pretende conocer la forma del «despiezo» con precisión, hasta el punto de obtener también la diferencia de cotas entre el punto medio y el extremo inferior, para construir la proyección vertical de la junta que busca «por la regla de coger tres puntos», es decir, uniéndolos con segmentos de recta, trazando las mediatrices y hallando el centro del arco que los enlaza. En cambio, se despreocupa de la posición del «despiezo», hasta el punto de trazarlo por debajo del arco de medio punto, cuando en realidad está por encima de éste, a causa del «capialzo» de la luneta. Es decir, el autor del cuaderno no pretende representar la pieza completa en el sentido moderno, sino únicamente disponer de los elementos geométricos imprescindibles para ejecutarla con precisión.

Para terminar el trazado, Portor aborda la construcción de la «sercha» o desarrollo de la línea de intersección entre luneto y bóveda; para ello, no tiene más que levantar perpendiculares a su proyección horizontal por los extremos de las juntas de lecho, *15*, *16*, *17*, *18*, y llevar sobre éstas sus cotas tomadas de la sección de la bóveda, *19*, *20*, *21*, *22*.

Portor no expone en esta «traza» la labra de la piedra, pero sí lo hace en la siguiente, la «Luneta capialzada en un cañón derecho perlongado».[22] Para labrar las dovelas que corresponden a la intersección de bóveda y luneto recomienda desbastar primero un prisma mixtilíneo con la forma de la envolvente de la dovela en planta, y darle la altura total de la pieza. A continuación, se va aproximando a la forma definitiva «robando» o eliminando cuñas sucesivas; para ello marca en cada una de las aristas verticales del prisma mixtilíneo su altura, que toma de la sección de la bóveda. Después irá eliminando material por debajo de estos puntos para dar forma al intradós de la dovela; en cambio, no nos dice nada del trasdós, que se debía desbastar de forma muy grosera, como era habi-

tual en la cantería española. Tampoco nos dice nada de la labra de una dovela del luneto que no se encuentre con la arista de separación entre luneto y bóveda, pero hay que entender que este caso más sencillo se resolvía de la misma manera, desbastando una envolvente de la pieza con su forma en planta y marcando sobre cada arista las cotas tomadas de la sección de la bóveda para «robar» cada cuña e ir dando forma a la dovela.

Arcos avanzados

A mediados del siglo XVI comienza a aparecer en la práctica una alternativa al luneto apuntado, que coincide a grandes rasgos con la solución románica de Toro y Zamora. Se trata de invertir una vez más el problema, trazando el luneto como una superficie cilíndrica sencilla que dará lugar a una curva compleja, alabeada y de cuarto grado, en la intersección con la bóveda de cañón. Al menos desde el siglo XVIII este elemento constructivo se denomina en castellano «luneto», por influencia francesa.[23] Pero en el siglo XVI estas piezas, junto con los arcos abiertos en taludes, reciben el nombre genérico de «arcos avanzados»; son «Arco avanzado en cercha» para Alonso de Vandelvira y «Arco avanzado en bóveda» para Ginés Martínez de Aranda.[24]

Los ejemplos más antiguos aparecen en obras ejecutadas por Andrés de Vandelvira. La cripta de la catedral de Jaén, hoy museo, construida hacia 1560, se cubre con una bóveda esquifada muy rebajada, y en ella se abren lunetos de intradós cilíndrico. Ni la forma esquifada ni el rebaje afectan a la naturaleza del problema, pues se trata siempre de intersecciones de cilindros; al contrario, el rebaje permite apreciar bien la forma de la pieza, pues permite un vuelo apreciable sin necesidad de grandes luces en el luneto, y esto se aprovecha resolviendo el encuentro entre luneto y bóveda en «pénétration extradosée», esto es, remarcando la rosca del luneto con varias fajas y separándola de la bóveda. En la sacristía de la misma catedral volvemos a encontrar intersecciones de cilindros, pero el efecto es muy diferente; al ser la bóveda de cañón y las luces de los lunetos reducidas, los vuelos son inapreciables, especialmente en los intervalos más pequeños del conocido ritmo binario; de nuevo se remarca la rosca del luneto mediante fajas. También sucede lo mismo en el tramo central de la iglesia del Hospital de Santiago en Úbeda, un cañón corto que sirve de transición entre dos vaídas; se abren lunetos de intradós cilíndrico rematados en un arco decorado con fajas que lo separa claramente de la bóveda. Como en la sacristía de Jaén, la luz del luneto es relativamente pequeña comparada con la flecha del cañón, por lo que los vuelos son casi inapreciables.[25] Estas piezas son coetáneas de los lunetos franceses más antiguos, como los de la iglesia de Saint-Jean de Joigny, construida entre 1557 y 1596 por Jean Chéreau, autor de uno de los manuscritos de cantería más importantes del Renacimiento francés.[26]

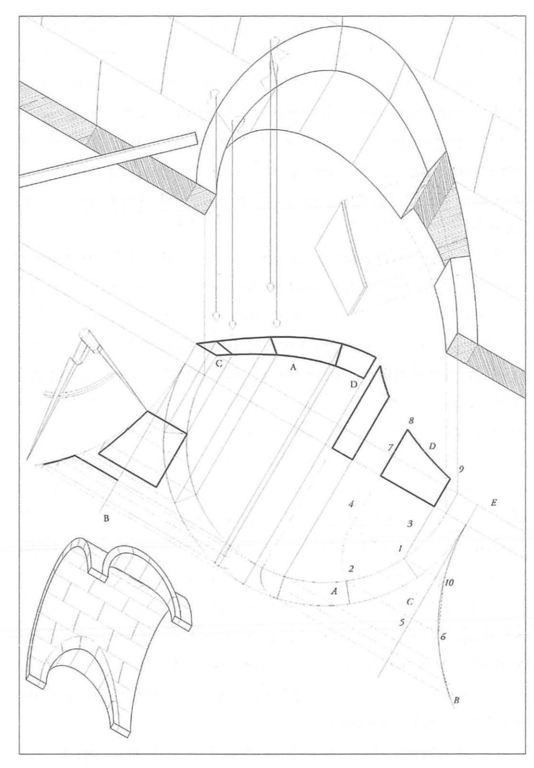


Figura 2.
A la izquierda, arco avanzado en cercha según Alonso de Vandelvira. A la derecha, arco avanzado en bóveda según Ginés Martínez de Aranda

En los tres ejemplos giennenses, como hemos visto, el encuentro entre el luneto y el cañón se resuelve remarcando la rosca del luneto, sin intentar coordinar las hiladas del «arco avanzado» y la bóveda. En cambio, en el zaguán occidental del palacio de Carlos V en Granada, realizado desde 1592 a 1594, bajo la maestría de Juan de Minjares, las cosas se plantean de otra forma.[27] Tanto la bóveda como el luneto se despojan de toda de-

coración, para lucir mejor su despiece, y el reparto del dovelaje de los lunetos se adapta con destreza al de la bóveda, dividiendo una dovela en tres partes en la clave o uniendo dos dovelas en los arranques para evitar deformaciones excesivas. Tenemos aquí un antecedente de los elegantes lunetos franceses del siglo XVII, incluyendo la solución que Pérouse de Montclos denomina «pénetration filée» y considera canónica.[28]

Ginés Martínez de Aranda ofrece en sus *Cerramientos y trazas de montea* tres variantes del «arco avanzado»; una recta, en la que los ejes de cañón y luneto se cortan en ángulo recto, y dos oblicuas. Centrándonos en la primera, comenzaremos trazando el arco de medio punto *A* que representa la sección recta del luneto. A continuación se reparte el dovelaje en partes iguales, puesto que esta solución no pretende coordinar el dovelaje del «arco avanzado» y la bóveda. Después se ha de trazar la semicircunferencia que representa la sección recta de la bóveda, *B*, y una línea vertical *C* que corresponde al plano vertical que pasa por la línea de impostas.

Seguidamente Aranda pasa a obtener las «plantas por cara», es decir, las plantillas del intradós del luneto. Para obtener la «planta por cara», se abate con eje en la recta de punta que pasa por el punto *1*. El segmento *3* contenido en la charnela no se desplaza en el abatimiento, pero su extremo no estará sobre la línea de impostas *E*, sino que se separa de ella en una distancia igual a lo que se separa la bóveda del plomo de la imposta a la altura de *1*. Podemos tomar esta distancia de la sección y llevarla sobre *3* para obtener el punto *9*. La recta de punta que pasa por *2* se convierte en la recta *4*, situada a una distancia de la *3* igual a la distancia entre *1* y *2*, que podemos tomar del alzado. De nuevo tomamos la posición de su extremo de la sección: estará separado de la línea *E* lo mismo que se separa la bóveda del plomo de la línea de impostas *C* a la altura de este punto *2* que estamos tratando de situar. Por tanto, llevaremos esta separación entre bóveda y plomo, *5 6*, sobre la línea *4* a partir del punto *7*, obteniendo así el punto *8*, con lo que tendremos definidos los cuatro vértices de la «planta por cara».

Pero ahora nos encontramos con un problema, puesto que tres lados de la «planta por cara» son rectos, pero el que corresponde encuentro de luneta y bóveda no; es la intersección de dos cilindros, una curva alabeada de cuarto grado. Ahora bien, Aranda no pretende representar esta curva con mayor o menor fidelidad, sino construir una plantilla rígida para desbastar la cara de intradós y realizar las cuatro tiradas que la definen; más adelante robará material para obtener el cilindro del intradós. Por tanto, lo que le interesa no es el desarrollo de la cara de intradós, sino su proyección sobre el plano definido por sus cuatro vértices. Como el luneto es una línea alabeada, su proyección sobre este plano será una curva, que Aranda identifica con un arco de circunferencia.

Si el tamaño del arco hace aconsejable trazar esta curva se sigue un procedimiento con un detalle muy sofisticado. Hay que tener en cuenta que lo que le interesa a Aranda no es lo que se separa el arco de círculo *1 2* de su cuerda, sino lo que se separa la proyección del arco *1 2* sobre el plano definido por los cuatro vértices de la «planta por cara» de su cuerda. El plano definido por los cuatro vértices es paralelo a una recta horizontal perpendicular al eje de la bóveda. Por tanto, lo que nos interesa saber es cuánto dista el arco de su cuerda medido en paralelo a una recta horizontal perpendicular al eje de la bóveda. Y esto se puede realizar fácilmente sobre la vertical *C* y la sección *B* de la bóveda, que al mismo tiempo es la proyección del luneto sobre un plano vertical. Aranda traza la cuerda del arco de círculo *10 6* y toma la distancia desde su punto medio al arco de círculo, medida en horizontal. Después lleva esa misma distancia horizontal al punto medio del segmento *9 8*, obteniendo así un tercer punto que le permite trazar el arco *9 8*, con lo que tiene la curvatura buscada. Por un método prácticamente idéntico obtiene las «plantas por lecho», o plantillas de las caras de lecho de la bóveda; con las plantillas de lecho y las de intradós que ha obtenido antes, puede labrar las dovelas de la pieza con toda precisión y sin ninguna dificultad.

Es interesante comparar esta solución con la que ofrece Alonso de Vandelvira en el *Libro de trazas de cortes de piedras*;[29] las dos son similares en lo esencial, pero hay importantes diferencias de detalle entre una y otra. Vandelvira traza las plantillas de lecho e intradós abatiendo sobre un plano vertical, y no sobre un plano horizontal como Aranda, para no «entoscar» la proyección en planta de las testas de las dovelas, que ha trazado bajando «plomos» o líneas que representan verticales, desde el alzado, y llevando sobre ellas sus alejamientos al plano frontal.[30]

La finalidad de esta construcción es curiosa: «la cimbria [...] ha de estar echada en el suelo a nivel y como se fueren asentando las piezas del arco se han de ir aplomando con ella». Es decir, el trazado se ha de realizar en el suelo y a tamaño natural, pero no en cualquier sitio, y desde luego no en las casas de trazas que sabemos que existían en las obras del Renacimiento,[31] sino preci-

samente debajo del arco, para poder controlar la ejecución. Esta forma de trabajar recuerda al pasaje del manuscrito de Simón García al que nos hemos referido antes, en el cual se construye la planta de una bóveda de crucería en un andamio situado inmediatamente debajo de la bóveda.[32]

Vandelvira expone la construcción de palabra en un apéndice al «Arco avanzado a regla», es decir, el abierto en el trasdós de un muro en escarpa, pero advierte que «desta manera se an de labrar todas las cimbrias de los arcos que abancaren», por lo que se debe entender que se aplica también al «Arco avanzado en cercha».[33] Para ello, va tomando las distancias de los vértices de las dovelas y de las mitades de sus cuerdas al plano de simetría del arco del alzado, y marcándolas sobre la línea horizontal *C A D*.

A continuación, Vandelvira toma las distancias de cada punto al plano vertical que pasa por la imposta de la bóveda en el perfil B. Esto no presenta ningún problema en el «Arco avanzado a regla», ya que se abre en un paramento plano y el perfil es una recta. Ahora bien, en nuestro caso el problema es muy complejo, porque para desarrollar adecuadamente la testa del arco es preciso resolver el problema de la rectificación de la circunferencia, que obsesionaba a los matemáticos de la época. Sin embargo, en los textos de cantería españoles del siglo XVI y comienzos del XVII el problema se evitaba por completo; simplemente se iban tomando las longitudes de las cuerdas de cada segmento, como hace Martínez de Aranda al abordar un problema muy similar, el desarrollo de la testa del «Arco en torre redonda», que también viene generado por una intersección de cilindros;[34] cabe pensar que Vandelvira pensaba en aplicar esta solución sin más, pues de lo contrario sería necesario emplear un procedimiento específico para el «Arco avanzado en cercha» y ya no se podría afirmar alegremente que todas las «cimbrias» de los arcos avanzados se construyen como la del «Arco avanzado a regla». A partir de aquí, sólo falta llevar estas distancias a lo largo de los «plomos» que se han trazado para cada punto para obtener su imagen en la «cimbria» y unir estos puntos de tres en tres con el compás.

La disyuntiva en la práctica: la iglesia abacial de Alcalá la Real

Se habla en ocasiones del luneto apuntado como un trazado «erróneo»; el trazado correcto sería el elegante luneto de Le Mercier, el «arco avanzado» de Vandelvira y Martínez de Aranda. Esto es un anacronismo, fruto de los textos de Estereotomía y Geometría Descriptiva de los dos últimos siglos. Como hemos visto, en una obra como El Escorial, que ejerció una influencia decisiva en la arquitectura durante muchas décadas, se emplean lunetos apuntados de manera sistemática. Sin embargo, existe un episodio que parece indicar, no un rechazo del luneto apuntado, pero sí una cierta preferencia por el arco avanzado; y además reviste un interés excepcional porque uno de sus protagonistas es el autor de uno de los dos textos esenciales de la cantería de nuestro Renacimiento.

La iglesia abacial de La Mota, en Alcalá la Real, se cierra de una manera muy singular. La nave, única y muy ancha, se cubre con una bóveda en pescante que recorre sus cuatro lados, por encima de la cual se dispuso una bóveda rebajada de ladrillo, desaparecida en la invasión napoleónica.[35] La bóveda en pescante sí ha llegado a nosotros; en tres de sus lados abren lunetos apuntados, con objeto de abrir luces por medio de unos óculos. Estos tres primeros lados fueron realizados entre 1589 y 1599, con proyecto de Ambrosio de Vico, dirección de Ginés Martínez de Aranda y Miguel de Bolívar y ejecución de Marcos López, Sebastián Ruiz y otros canteros. La solución es singular, y puede derivar de algunas secciones de Serlio y De L'Orme, que al cortar por la clave algunas bóvedas de lunetos, pueden sugerir la bóveda en pescante; pero en cualquier caso, hasta donde llega nuestro conocimiento, Ginés Martínez de Aranda no tiene especial reparo en construir los lunetos apuntados.[36]

Sin embargo, a lo largo de la redacción de los *Cerramientos y trazas de montea*, en la primera década del siglo XVII, las cosas se ven de una forma diferente. Aranda no nos ofrece en la parte conservada de su obra escrita la solución al problema del «luneto capialzado y apuntado»; no es fácil decir si lo incluyó en la porción hoy perdida. Por una parte, Portor expone su luneta entre las bóvedas, y otro tanto podría haber hecho Aranda; tratar de ella en la cuarta parte de su manuscrito, hoy desaparecida, que recogía pechinas y bóvedas. Por otra, hay que tener en cuenta el precedente de Vandelvira, que no habla del luneto apuntado en las copias, en principio bastante completas, que han llegado hasta nosotros.

Ahora bien, se pueden encontrar en los *Cerramientos* dos «trazas» especialmente próximas a la temática abordada en la iglesia abacial; dos «cortes» que no sólo

recogen el problema de las agrupaciones de arcos o «corredores» de Alcalá y de Joigny, sino que también insinúan el encuentro en la esquina de una sala o patio de dos de estos corredores, presente en la iglesia alcalaína y del todo ausente en la francesa.[37] Una de estas trazas emplea el «arco avanzado en bóveda», pero la otra no utiliza el luneto apuntado que conocemos, sino medias bóvedas de arista. La elección es curiosa, porque la bóveda de arista es un caso particular tanto del «arco avanzado» como de la «luneta». Puede entenderse como la superficie mixta formada por dos cilindros de igual radio, que da como intersección no dos curvas de cuarto grado, sino dos elipses; pero también puede pensarse que una de las superficies de la pieza es una reglada que pasa por dos elipses que se cruzan en la clave de la bóveda de cañón.

No es descabellado pensar que aquí Aranda está estudiando nuevas soluciones para las bóveda de Alcalá, que en aquel momento todavía tenían el testero por construir. No pudo ponerlas en práctica; el cuarto lado de la bóveda en pescante fue realizado entre 1622, después de la muerte de Ginés Martínez de Aranda, por Mateo de Santa Cruz, según traza y condiciones de Ambrosio de Vico, que probablemente derivan de otra traza anterior de Aranda y Vico. Hoy en día se encuentra en muy mal estado, aunque se puede apreciar que los lunetos que se abren en él son de diseño diferente a los de los otros tres lados, más redondeados. Quizá se trate de arcos avanzados, pues en 1624 se acuerda poner unas claves de yeso, hoy desaparecidas, para disimular la diferencia entre los nuevos arcos, «extendidos», y los anteriores arcos apuntados, por recomendación de Luis González, yerno de Aranda.[38] Es decir, Mateo de Santa Cruz, y quizá Vico y Aranda, prefieren el arco avanzado al luneto apuntado de los tres primeros lados de la bóveda; pero Luis González y los clientes no piensan lo mismo, o al menos consideran que esta sutileza no justifica la desigualdad entre los lunetos de este tramo de bóveda y los otros tres tramos, y que es necesario ocultarla, aunque sea con la solución de fortuna de las claves de yeso.

Esta moderada preferencia por el «arco avanzado» parece responder, más que a una voluntad formal, a la búsqueda de soluciones óptimas para la construcción en piedra, ya que el «arco avanzado» se traza por medio de abatimientos y se da forma a las dovelas con ayuda de plantillas, mientras que en el luneto apuntado se emplean proyecciones ortogonales y se labra «por robos», método que da lugar a una apreciable pérdida de trabajo y material, como señalan uno tras otro los tratadistas de cantería desde Philibert De L'Orme en adelante; por el contrario, el «luneto apuntado y capialzado» se sigue empleado de preferencia en la construcción en ladrillo.

NOTAS

Agradezco a Enrique Rabasa su amabilidad al leer un borrador de este trabajo y la agudeza de sus comentarios.

1. Pérouse de Montclos, J.M.: *L'Architecture a la française*. Picard. París, 1982, p. 208.
2. *Ibid.*, p. 112-114.
3. V. Fergusson, P. J.: «Notes on two engraved cistercian drawings», *Speculum*, 1979, pp. 1-17; Branner, R.: «Villard de Honnecourt, Reims and the origin of gothic architectural drawing», *Gazette des Beaux-Arts*, 1963, pp. 129-146.
4. Torres Balbás, L., «Los cimborios de Zamora, Salamanca y Toro», *Arquitectura*, Madrid, 1922 (Ahora en *Anales de Arquitectura*, nº 7, 1996, pp. 125-137); Pérouse de Montclos, J. M.: *L'Architecture a la française*, p. 114.
5. Rabasa Díaz, E.: *La traza en el acuerdo entre forma y construcción*, 1997, p. 26-27. (Memoria inédita de la oposición a la cátedra de Geometría Descriptiva de la Escuela de Arquitectura de Madrid.)
6. Gil de Hontañón, R.: *Manuscrito*, incluido en García, S.: *Compendio de Arquitectura y simetría de los templos*, f. 24 v.-25 v (Ed. facsímil con transcripción. Colegio de Arquitectos en Valladolid. Valladolid, 1991) «Para cortarlas al alto que requieren, se les toma en esta manera. el andamio se haçe al nibel de donde comiençan a mober las bueltas, [...] Y porque alli estara vajo por allarse los jarjamentos con sus abançamentos mas altos. Y no se alcançara a asentar los cruzeros sobre ellos, se ara otro segundo andamio como S. Y este tan cuajado de fuertes tablones, que en ellos se pueda trazar, delinear y montear, toda la cruceria ni mas, ni menos de lo que se ve en la planta. Esto echo y señaladas todas las claues en su lugar sobre los tablones dejar caer perpendiculos, de la buelta a ellas, esto es para las que estan en los cruzeros o diagonales. Mas para las maças de todas las otras se hara assi. puesta la clabe maior al alto que le toca, arás vna çercha tan larga que alcançe desde [...] el pie de Gallo a la claue maior con la buelta de la diaGonal, y desde estas zerchas dejar caer plomos a las claues que estan señaladas en los tablones [...]».
7. Rabasa Díaz, E.: «Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI», *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1996, pp. 424, 431; *La traza en el acuerdo entre forma y construcción*, 1997, pp. 42-43.

8. *Ibid.*, p. 431. Gómez Martínez, J.: *El Gótico español de la Edad Moderna. Bóvedas de crucería.* Universidad de Valladolid. Valladolid, 1998, pp. 125, 131.
9. Rosenthal, E. E.: *The Palace of Charles V in Granada.* Princeton University Press. Princeton, 1985. (Tr. española de Pilar Vázquez Álvarez, *El Palacio de Carlos V en Granada.* Alianza. Madrid, 1988, pp. 61-62).
10. Bustamante García, A.: *La octava maravilla del mundo.* Alpuerto. Madrid, 1994, pp. 237, 238.
11. En un brazo del transepto de Saint-Pierre de Dreux se intenta resolver este problema, con ciertos titubeos, mediante un arco apuntado que alberga en su interior un arco de medio punto que es el que abre luces y se muestra al exterior. V. Pérouse De Montclos, J.-M.: *De la rennaissance à la Révolution.* Mengès-CNMHS. París 1989, p. 174.
12. Martín González, J. J.: «El panteón de San Lorenzo del Escorial», *Archivo Español de Arte,* Instituto Diego Velázquez, Madrid, 1959, p. 202; v. también Chueca Goitia, F.: «Sobre arquitectura y arquitectos madrileños del siglo XVII», *Archivo Español de Arte,* Instituto Diego Velázquez, Madrid, 1945, p. 366.
13. San Nicolás, Fr. L: *Arte y uso de Arquitectura.* Imprenta de Juan Sanchez. S. l. [Madrid], 1639, ff. 103 r.-104 v.; Díaz Fernández, A. J., «Fray Lorenzo de San Nicolás y la iglesia de Novés (Toledo)», *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VII: Historia del Arte,* UNED, 1996, p. 118-120.
14. Por ejemplo, Martínez De Aranda, G.: *Cerramientos y trazas de montea.* Pl. 227-229. (Manuscrito c. 1600. Ed facsímil, Madrid, CEHOPU, 1986). V. al respecto Calvo López, J.: *'Cerramientos y trazas de montea' de Ginés Martínez de Aranda.* Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 1999, tomo III, pp. 196-197.
15. Si se ha dado a la luneta una luz igual a la mitad de la luz de la bóveda, como recomienda Fray Laurencio, el procedimiento expuesto equivale a dar a la cuerda de la arista de intersección una longitud igual a cinco cuartos de la semiluz de la bóveda. En realidad, esta cuerda es la hipotenusa de un triángulo rectángulo que tiene por catetos la distancia entre M y X, que es igual a la semiluz de la bóveda, y la distancia entre X y el vértice del luneto, que equivale a la mitad de esta semiluz. Por tanto la cuerda de la arista de intersección tiene por longitud la raíz cuadrada de cinco cuartos, o 1,1180 veces, la semiluz de la bóveda, mientras que Fray Laurencio le da 1,25 veces.
16. San Nicolás, Fr. L. : *Arte y uso de Arquitectura,* f. 104 r.- 104 v.
17. San Nicolás, Fr. L.: *Arte y uso de Arquitectura,* f. 104 r.: «mas cuando sin cimbras se pueden tabicar, lo harás, con solo poner vn cordel en el assiento de la luneta **A** y otro en la **C** que leuanten lo que tuuieren de ancho las lunetas, y con ellos iràs formando las aristas hasta cerrarlas [...]»
18. San Nicolás, Fr. L.: *Arte y uso de Arquitectura,* f. 104 r. V. también f. 103 v. «Es muy semejante en todo a la capilla por arista [...] y assi cuando llamamos a la capilla por arista, lunetas agregadas, o capilla de lunetas, no seria impropiedad [...] Muchos traçan, y labran las lunetas, guardando la orden de las capillas por arista [...]».
19. Portor Y Castro, J.: *Cuaderno de arquitectura.* 1708, f. 47 de la numeración original. (Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 9114.)
20. Frézier, A.-F.: *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voutes et autres parties des bâtiments civils et militaires ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture.* Jean Daniel Doulsseker-L. H. Guerin. Estrasburgo-París, 1737-1739, tomo III, p. 37-43.
21. V. Calvo López, J., *'Cerramientos y trazas de montea' de Ginés Martínez de Aranda*, tomo I, pp. 181-183, 189-192.
22. Portor Y Castro, J.: *Cuaderno de arquitectura*, f. 47 v.
23. La acepción aparece de forma un tanto confusa en R[ejón] D[e] S[ilva], D. A.: *Diccionario de las Nobles Artes para Instrucción de los aficionados ...* Antonio Espinosa. Segovia, 1788, p. 130-131; y Bails, B.: *Diccionario de Arquitectura Civil.* Viuda de Ibarra. Madrid, 1802, p. 62, y con toda claridad en Rovira Y Rabassa, A.: *Estereotomía de la Piedra.* Provincial de la Caridad. Barcelona., 1897, p. 84-85.
24. Vandelvira, A.: *Libro de Trazas de cortes de Piedras,* f. 23 v.(Ed. facsímil, *Tratado de Arquitectura.* Caja Provincial de Ahorros de Albacete. Albacete, 1977; Martínez De Aranda, G.: *Cerramientos y trazas de montea.* Pl. 48-50. (Manuscrito c. 1600. Ed facsímil, CEHOPU. Madrid, 1986)
25. Chueca Goitia, F.: *Andrés de Vandelvira, arquitecto.* Diputación de Jaén. Jaén, 1971, p. 176, 181, 184-189, 191, 193, 212-214.; Gila Medina, L., ; Ruiz Puentes, V. M. : «Andrés de Vandelvira: aproximación a su vida y obra», en *Arquitectura del Renacimiento en Andalucía. Andrés de Vandelvira y su época.* Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Sevilla, 1992, pp. 105-106, 114.
26. Pérouse De Montclos, J.-M.: *De la Renaissance à la Révolution*, pp. 172-173.
27. Rosenthal, E. E.: *El Palacio de Carlos V en Granada,* pp. 143-144.
28. Pérouse De Montclos, J.-M.: *L'Architecture a la française*, p. 114.
29. Vandelvira, A.: *Libro de Trazas de cortes de Piedras,* f. 23 r; v. Palacios, J. C.: *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español.* Ministerio de Cultura. Madrid, 1990, pp. 62-63.
30. Sin embargo, García Berruguilla, J.: *Verdadera práctica de las resoluciones de la geometría.* Francisco Mojados. Madrid, 1747, p. 101, no traza la proyección ho-

rizontal del arco, pero construye las «plantas» en sección.

31. Para la del Escorial, v. Cervera Vera, L.: *Años del primer matrimonio de Juan de Herrera*. Albatros. Valencia., 1985, pp. 84, 94; Bustamante García, A.: *La octava maravilla del mundo*, p. 228; para la de la catedral de Granada, Gómez-Moreno, M.: *Diego Siloé. Homenaje en el IV centenario de su muerte*. Cuadernos de Arte. Granada, 1963, p. 90; para la de la catedral de Sevilla, Pinto, F., Y Jiménez Martín, A.: «Monteas en la Catedral de Sevilla», *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica,* 1992, pp. 79, 80-83; Morales, A. J.: «El proyecto arquitectónico en la Sevilla del Renacimiento. Elementos y condicionantes». *Juan de Herrera y su influencia.* Universidad de Cantabria. Santander, 1992, pp. 343-344; del mismo autor, *Hernán Ruiz «El Joven»*. Akal. Madrid, 1996, pp. 45-46.

32. Gil De Hontañón, R.: *Manuscrito*, f. 24 v.-25 v. V. Sanabria, S. L.: *The evolution and late transformations of the Gothic mensuration system*. Tesis doctoral, Universidad de Princeton, 1984, p. 52; «From Gothic to Renaissance Stereotomy». *Technology and culture*. Society for the History of Technology, 1989, p. 268.

33. Vandelvira, A.: *Libro de trazas de cortes de piedras,* f. 24 r., según la numeración original del manuscrito.

34. Martínez De Aranda, G.: *Cerramientos y trazas de montea,* pl. 4.

35. Gila Medina, L.: *Arte y artistas del Renacimiento en torno a la Real Abadía de Alcalá la Real.*. Universidad de Granada. Granada, 1991, pp. 53-57, 78.

36. Gila Medina, L.: *Arte y artistas del Renacimiento ... ,* pp. 71-72, 76-78.

37. Martínez De Aranda, Ginés: *Cerramientos y trazas de montea,* pl. 109-112.

38. Juan Lovera, C.: «Iglesia abacial de Santa María de La Mota de Alcalá la Real. La Pulchra Ignota», *Boletín de Bellas Artes.* Sevilla, 1988, pp. 154, 158-162; Gila Medina, L.: *Arte y artistas del Renacimiento ...*, pp. 80-84.

El proceso de fabricación de productos cerámicos a principios de siglo, en Tierra de Campos. La producción de cerámica cocida preindustrial y el paso a la industrialización

María Soledad Camino Olea
Roberto J. García Barrero
Alfredo Llorente Alvárez

La cerámica, a cuya producción se refiere este texto, estaba situada en una zona entre Palencia capital y la zona Norte de la provincia, en concreto en un municipio de nombre Villasarracino, si bien el proceso de fabricación y de la evolución del mismo que se relata, es común a las cerámicas y tejeras de esta zona de Tierra de Campos.

Debemos retrotraernos al último cuarto del siglo XIX para empezar a situar los inicios de esta tradición en la producción de material cerámico destinado a la construcción: ladrillos, baldosas y tejas principalmente.

Para el inicio de la actividad se eligió un lugar próximo al pueblo, al casco urbano, y que además reuniera varias condiciones necesarias para la elaboración de los materiales: una zona no lejos de un río, con la posibilidad de poder perforar un pozo, y próximo a su vez a tierras de fácil extracción de una arcilla sin mezcla de calizas.

Para iniciar la actividad se levantaron el mínimo de dependencias necesarias (figuras 1 y 2), como son: un almacén, un secadero, una cuadra para los animales, una solana exterior para el secado del material, y los hornos de cocción. Éste va a ser el elemento que va a permanecer a lo largo del todo el proceso y que el que al final desencadenó el cierre de esta cerámica por no competir con las cerámicas que contaban con hornos de fabricación continua mucho más eficaces.

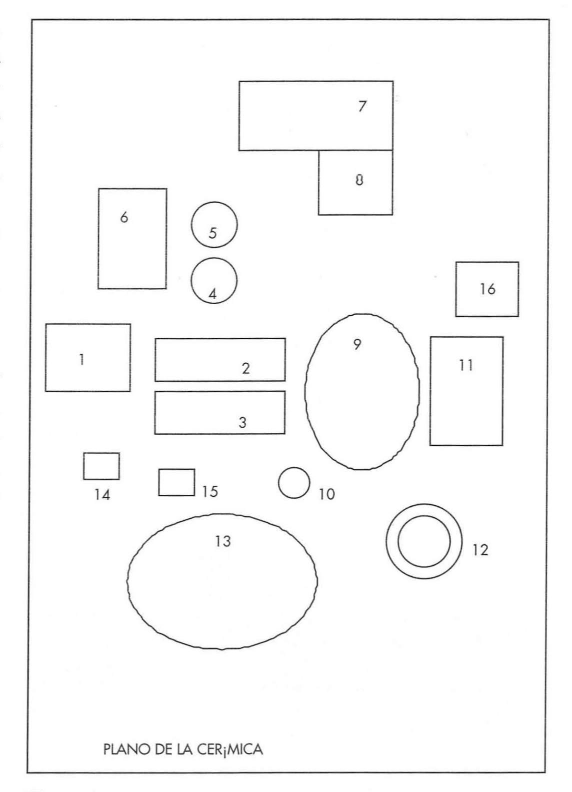


Figura 1
Plano de la cerámica: 1 almacén, 2 secadero, 3 escolgadero, 4 horno A, 5 horno B, 6 pajar y carbonera, 7 cavadero, 8 toja de arriba, 9 toja grande, 10 pozo artesiano, 11 cuadra, 12 trilla, 13 solana, 14 pilón, 15 pila, 16 transformador.

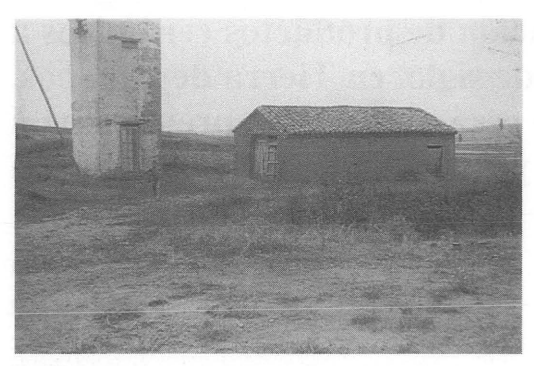


Figura 2
Vista de la antigua cerámica

Producción y proceso de elaboración

Extracción y preparación del material

Desde el principio el material se extrae, en general, de una zona cercana a la ubicación de los hornos de cocción. Esta zona se conocía con el nombre de *cavadero* o *toja* (figura 3).

Se cuida especialmente que no haya calizas, ya que su presencia va a provocar posteriormente los caliches, gránulos de cal, que van a reventar las piezas una ver elaboradas, inutilizándolas, o al menos dando lugar a defectos visibles. La excavación, al aire libre, se hace a pico y pala.

Durante el invierno esta masa de arcilla de removía y se deja *cocer* por las heladas, para que se deshiciera los caliches. Y el ladrillo y la teja se empezaban a hacer hacía el mes de Febrero si el año venía bueno, es decir si dejaba de helar, y se paraba a primeros de Noviembre, cuando comenzaban las primeras heladas. No era infrecuente la aparición de vetas de mala calidad que en ocasiones llega a inutilizar partidas importantes de material.

Una ver pasado el invierno, la tierra se disponía sobre una era, pequeño círculo de cemento donde se extendía, y donde era pisada y triturada por una piedra que mueve en forma de noria una mula. Cuando la tierra está molida se retiraba y se llevaba al almacén donde se cribaba. Una vez acribada la tierra y eliminados los residuos o *granceas*, trozos grandes de piedra o arcilla, se hacía la masa o envuelta con agua para formar el barro. Esta mezcla se dejaba tres días para que se pasase y la masa de arcilla fuera más moldeable.

Más adelante se colocará la piedra de moler sobre otra más grande, algo elevada, que tenía en el centro un orificio con una criba por donde caía la arcilla bien machacada y fina.

Esta masa de arcilla ya triturada, se depositaba en unas pilas, y se le añadía agua, siendo esta sencilla mezcla la que va a dar lugar a los ladrillos y tejas. La mezcla en cuestión se ha de amasar fuertemente, primero manualmente y luego con ayuda de animales. A partir de los años 50, se utilizó primero un motor de gasoil, y luego uno eléctrico (figura 4), y se prescindió de la fuerza animal para la operación de molido. El resto del proceso de curado es el mismo.



Figura 3
Vista actual del horno y del cavadero

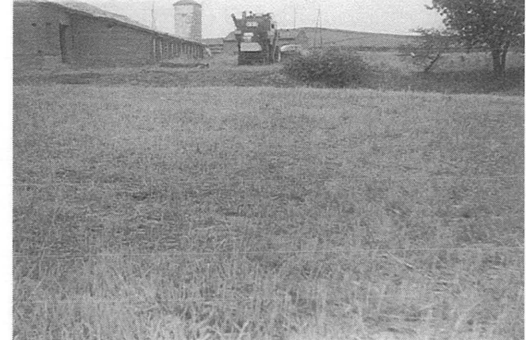


Figura 4
Transformador y cuadra.

Elaboración de las piezas previa a la cocción

Hasta los años 50 todo el proceso fue manual, sin la utilización de maquinaria alguna y sólo se hacen ladrillos macizos a paralelepipédicos, sin ningún tipo de rehundidos, y tejas. Sobre una mesa pequeña se extendía un poco de polvo de tierra y se colocaba la *amacal* o gradilla. Se echaba sobre él una cantidad de la masa de arcilla ya preparada, y se apretaba con la mano, que se mojaba para hacer fácil la tarea, hasta colmatar el molde, enrasándolo con la rasqueta. A continuación con un punzón, llamado *pujamante o lezna*, se rodeaba la amacal y se quitaba el molde. La amacal tenía hueco para dar forma a dos piezas de ladrillo a la vez. El ladrillo a continuación se llevaba a un lugar cercano llamado solana o secadero, y se dejaba secar entre 3 y 6 días antes de llevarlo al horno

La fabricación de la teja, también manual seguía un proceso muy parecido. La masa de arcilla se colocaba sobre un galápago o pieza de madera de forma cóncava sobre la que se transportaba la teja hasta el secadero.

Hacia el año 1936 aparece una prensa de bolas que permite fabricar ladrillos prensados y baldosas de solar, que también se meten en los hornos para su cocción. Estas prensas tienen, dos grandes bolas de hierro, unidas por una barra metálica, que se hacían girar rápidamente por un tornillo que atraviesa la barra, y que al llegar abajo prensan con gran fuerza unos moldes que dan forma al ladrillo y a la baldosa, que llevan la inscripción del dueño de la tejera. En el caso concreto de este horno Eugenio Antolín.

En los años 50 se adquiere una galletera que multiplicó la fabricación de ladrillos y tejas, al hacerlos de forma mecánica, así como un motor de 18 caballos que impulsaba a través de la boquilla la masa de arcilla de la que surtía un operario. La masa de arcilla al salir del molde se va cortando con alambre según la medida de las piezas. La producción a la hora podía ser de 400 ladrillos que comparados con los 130 que hacía un obrero manualmente supuso un salto enorme hacia delante. Se fabrican así, por vez primera, los ladrillos huecos de tres y seis agujeros. El resto del proceso de curado y secado era el mismo. Las piezas que se fabricaron a lo largo de todo este período fueron: el ladrillo macizo, el macizo prensado (con rehundido), el ladrillo hueco de seis agujeros, el ladrillo hueco de tres, conocido como «españa», la baldosa de solar y la teja (figura 5).



Figura 5
Productos que se fabricaban.

Proceso de cocción

El proceso de cocción en horno prácticamente no sufrió modificaciones en lo fundamental, salvo en el combustible y en la ventilación.

Descripción de los hornos

Eran construcciones de forma abovedada, bastante alargada, que se construyeron con ladrillos macizos y adobes, con relleno y rejuntado de arcilla, y trullados por dentro y fuera con masa de barro y paja (figura 6).



Figura 6
Restos de los hornos

En la base tenían hasta un espesor de cuatro astas de ladrillo macizo, en torno al metro, y en la parte superior se reducía a dos o dos y medio astas de espesor.

Los hornos están situados en un terreno en pendiente y tenían dos aberturas (figura 7): una en la zona elevada de la pendiente, para la introducción de los ladrillos y su posterior retirada tras la cocción, y otro en el lado opuesto, en la zona más baja del horno, para alimentar con combustible el fuego.

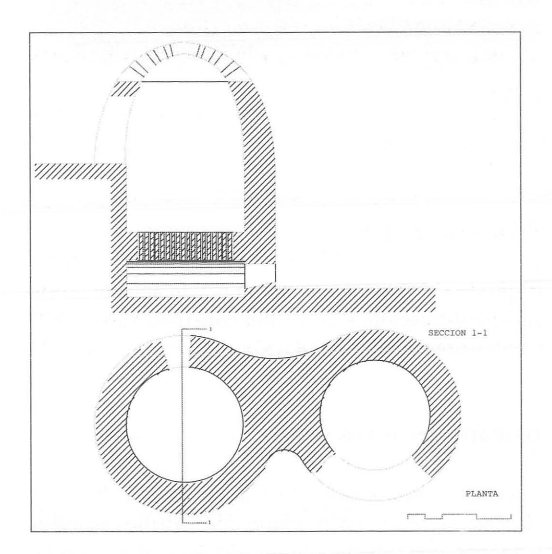


Figura 7
Planta y sección de los hornos.

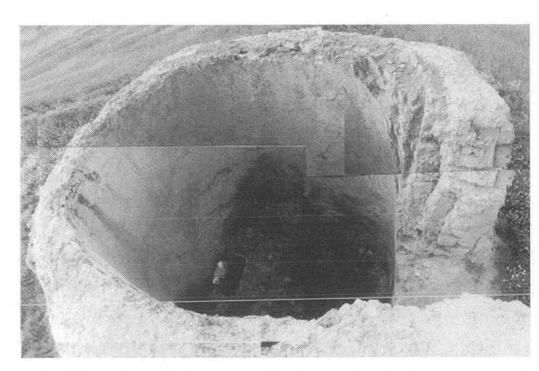


Figura 8
Horno desde arriba. A la derecha, la puerta de acceso para colocar los productos cerámicos; abajo, a la izquierda, la entrada de combustible..

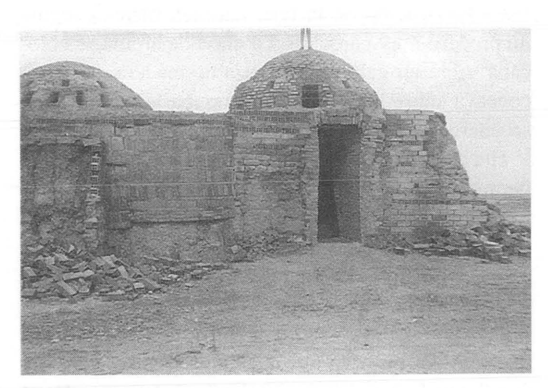


Figura 9
Fotografía antigua de los hornos en la que se puede apreciar la puerta para introducir las piezas cerámicas y el cierre calado de la parte superior.

La base de los hornos, estaba realizada por arcos de ladrillo macizo, que se recrecían hasta dejar una base horizontal. Estaban separados entre sí un poco menos que la dimensión de la soga de un ladrillo macizo, de modo que entre arco y arco se colocaban ladrillos macizos dejando entre uno y otro unos huecos de 10 cm de espesor a modo de rejillas por donde subía el calor para la cocción (figura 8).

La parte superior, en un principio estaba abierta, como cortando el cono, pero en los últimos tiempo se cerró con una bóveda horadada, que dejaba huecos que servían para controlar la dirección del calor y la cocción (figura 9).

Colocación de las piezas y cocción

Dentro del horno se colocaban los ladrillos macizos de canto, dejando huecos entre ellos, normalmente hasta la mitad, y rellenando hasta arriba con las tejas, colocadas siempre en vertical. Cuando aparecen los ladrillos huecos estos se colocan en medio. Cada dos hiladas de ladrillos, se esparcía un poco de polvo de carbón, para favorecer la combustión interna. Una vez lleno el interior del horno se cerraba la puerta, que hemos señalado que estaba en la zona alta, con dos hojas de adobe, una alineada con el interior del horno, y la otra, dejando una cámara de aire en me-

dio, alineada con el exterior, trullándose, con una masa de barro y paja para evitar agujeros y pérdidas de calor.

Dependiendo del horno, de la habilidad del colocador y de las piezas, se podían introducir entre 13.000 y 16.000 piezas en el horno, en cada hornada.

Una vez colocadas todas las piezas se comenzaba la cocción. Esta se hacía al principio exclusivamente con paja, que se introducía por el agujero que se situaba en la parte más baja del horno. Era necesario mantener el fuego durante al menos una semana entera, día y noche. Más tarde se fue usando carbón, lo que aceleró un poco el proceso, y sobre todo redujo el volumen del combustible. Durante este tiempo se controlaba la cocción de la cerámica observando por la parte superior. En las zonas que estaban más al rojo vivo se tapaban las aberturas con unas tortas de barro de modo que se dirigiera el calor hacia las otras zonas.

La señal que indicaba que la cocción se había realizado era que, en la parte superior del horno, las piezas cocidas adoptaban la forma de un plato como si se hubiese producido, lo que así era, una merma uniforme de todo el conjunto. Una vez que esto ocurría se tapaba la parte superior del horno, cerrándose en su totalidad con barro. Entonces se paraba de echar paja o carbón y se esperaban entre tres o cuatro días hasta que se había enfriado el horno lo suficiente para que se pudiesen ir abriendo huecos por arriba y por el hueco de acceso, que ahora había que demoler. Esta operación debía ser lenta, ya que un cambio brusco de temperatura por abrir demasiado pronto y rápido rompía los ladrillos y tejas. También era frecuente que una descompensación en la combustión llegase a fundir las piezas, y formase escorias derretidas de bloques de ladrillo, dando lugar a formas realmente originales y caprichosas, completamente vidriadas. Una vez enfriado el conjunto se deshornaba, es decir se sacaban todas las piezas, y había que introducirse por el agujero inferior, el que servía para alimentar la combustión, y limpiar de cenizas, escorias y restos bajo del horno y dejarlo limpio y preparado para otra hornada.

Este proceso de cocción tuvo dos mejoras, una fue, con la llegada de la electricidad, la colocación de un ventilador a la puerta del orificio de alimentación de combustible (1953), lo que avivaba el fuego y permitía subir el fuego en día y medio o en dos días máximo; y la otra fue cerrar la parte de arriba del horno con una bóveda perforada (figura 7), que servía para regular el tiro de una forma un poco menos rudimentaria y más eficaz que con el método de las tortas de barro, cerrando o abriendo con ladrillos y barro esos huecos, y así dirigir el fuego a un lado u otro del horno hasta unificar la cocción del conjunto.

El resto del proceso: colocación de piezas, cocción en si, etc., no sufrió cambios y se llegó a alcanzar una producción anual de 50.000 ladrillos y 40.000 tejas, con estas mejoras. La cerámica realizó su última hornada en el año 1969 ya que al no cambiar el horno, el sistema de fabricación dejó de ser competitivo.

Bibliografía

Calvo de las Fuentes, J.M: *Villasarracino*; Ediciones Eunate; Pamplona, 1999.

García López, M.: *Manual completo de ates cerámicas ó fabricación de objetos de tierras cocidas en todas sus aplicaciones*. Ed. Librería de Cuesta. Madrid, 1877.

Mora Calvo, A: *Villasarracino, tierra de campos*; Ed. Graficas Palencia. S.A; Palencia 1997.

Von Bück, J.: *Manual del fabricante de ladrillos*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 1923.

El espacio residencial privado y su proyección social en la ciudad del Antiguo Régimen. Las casas del cabildo catedralicio leonés

Mª Dolores Campos Sánchez-Bordona

En el fondo documental del Archivo Catedral de León se conservan amplias referencias de las «visitas» o inspecciones, efectuadas por los propios canónigos en las *casas de gracia* propiedad del cabildo catedralicio leonés en el siglo XVI. La lectura de esta rica documentación nos ha servido de punto de partida para el estudio de un interesante capítulo de la Historia de la Arquitectura de la Edad Moderna, habitualmente poco conocido, como es el espacio privado doméstico, en especial el de una tipología de vivienda a medio camino entre lo señorial y lo popular. Gracias a la abundancia de datos, detalladas descripciones y variedad de noticias que allí se nos ofrecen, hemos podido efectuar una primera aproximación al tema bajo dos aspectos diferentes:

Por un lado, hemos analizado la tipología de estas viviendas, los materiales constructivos, ordenación y distribución de espacios interiores, número y características de las dependencias, cámaras, cuartos, corredores, bodegas, etcétera. Todo ello nos ha conducido al estudio de los modos de vida y de la organización vital de sus moradores, quienes, en unos casos, pertenecen al estamento eclesiástico, pero, en otros, se trata de profesionales vinculados a la fábrica catedralicia como entalladores, plateros o el maestro de la obra.

Una vez perfilado el ámbito privado, hemos constatado el importante papel que tales viviendas desempeñaron en la configuración del marco urbano de León en el siglo XVI. El considerable número de edificios, y su ubicación en las zonas más céntricas y valoradas de la ciudad, implicaba la disponibilidad del cabildo catedralicio de un elevado porcentaje del suelo de la ciudad, cuyas consecuencias económicas y sociales se hicieron notar en el devenir del trazado urbanístico local.

El patrimonio inmueble del cabildo catedralicio leonés estaba constituido por un importante número de casas, huertos y corrales, ubicados dentro y fuera del recinto ciudadano. En este trabajo abordaremos únicamente el suelo urbano propiedad de la institución capitular en la zona intramuros de la antigua ciudad durante el siglo XVI. Se trata de un conjunto de bienes cuya vinculación con el estamento eclesiástico se remonta a la Edad Media y como tal continuó, con escasas variaciones, durante la Edad Moderna hasta el proceso desamortizador en el siglo XIX.[1] La extensión global de las construcciones pertenecientes al cabildo de Regla superaba en aquella época las tres cuartas partes del espacio intramuros edificado[2] (figura 1). Una cifra muy elevada, que sumada a la superficie ocupada por los bienes inmuebles de otras instituciones religiosas locales, como la Real Colegiata de San Isidoro, conventos, cofradías y parroquias, pone de manifiesto la importancia económica y social del poder eclesiástico en la ciudad. Por el contrario, los edificios pertenecientes a instituciones temporales, nobleza o a particulares, estaban aún en franca minoría, prueba de la modesta representación del poder civil en la economía local, ante una sociedad de escasa actividad mercantil, con una débil producción manufacturera y todavía vinculada a los modos de vida medievales, básicamente agrícolas.

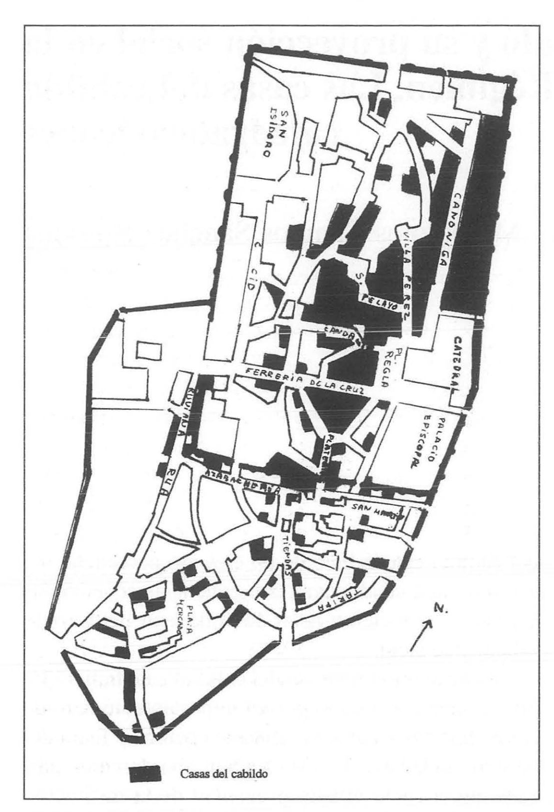


Figura 1. Plano de la ciudad de León en el siglo XVI con la ubicación de las casas del cabildo catedralicio leonés.

Esta fuerte presencia física del estamento religioso en el espacio intramuros de la población jugó un destacado papel en la configuración del trazado de calles y plazas de León y fue determinante en el proceso evolutivo de la vida urbana, siempre condicionada por la voluntad e intereses de sus principales dueños, quienes ejercían plena disponibilidad del suelo en lo referente a calificación, valoración, arrendamiento y tipo de actividad. Tal protagonismo dio lugar a frecuentes motivos de fricción con los representantes del Consistorio leonés durante la dada Moderna, con enfrentamientos por cuestiones de ubicación de mercados, elección de escenarios y recorridos procesionales de las diversas festividades religiosas y populares celebradas en la ciudad.[3] Aunque el motivo de estos litigios esconde el verdadero deseo de controlar desde el poder tales actividades comerciales y festivas, debido a las implicaciones económicas e ideológicas que de ellas se derivan, no era menos importante la lucha por la disponibilidad del marco urbano en el que discurrían. Muestra de ese interés fueron las prolongadas disputas entre los representantes municipales y las autoridades catedralicias durante todo el Antiguo Régimen por cuestiones protocolarias y rituales o por los emplazamientos de abastos en el interior de la ciudad.

Además del valor numérico y económico y de la extensión global de la superficie ocupada por las propiedades religiosas, es interesante reflejar la ubicación de las mismas. Limitándonos de nuevo al recinto intramuros leonés, se constata un alto porcentaje de casas capitulares en el centro de lo que fue la antigua ciudad medieval, es decir, el espacio comprendido dentro de la primera muralla y la cerca del siglo XIV (figura 1). Un hecho que puede entenderse como resultado del proceso de adquisición de solares iniciado en la Edad Media y afianzado en este período histórico. En este sentido, en el siglo XVI las casas del cabildo se agrupaban en tres zonas significativas: la más destacada, por número y calidad arquitectónica, se extendía por el entorno del templo catedral: plaza de Regla, calles Canoniga, Villapérez, Candamio y San Pelayo; a ella seguían las zonas cercanas a los mercados y actividad económica de la ciudad, en las proximidades de las plazas de San Martín y de las Tiendas y calles Cardiles, Platería, Azabachería y Revilla; en tercer lugar, otro grupo de inmuebles estaban asentados en los principales ejes viales de acceso al centro de núcleo urbano, como eran las calles Rúa y Ruviana (figura 1).

La presencia capitular en estas tres áreas implicaba el control de diferentes aspectos de la vida local, cómo eran el económico, social, religioso y celebrativo.[4] En función de tales intereses, las autoridades del cabildo, alquilaban, o se reservaban para los propios canónigos un porcentaje de las casas de su propiedad. Es frecuente que las ubicadas en las proximidades a los mercados fueran cedidas en renta a mercaderes, artesanos y funcionarios locales. Se trataba de viviendas de tamaño más reducido, con posibilidades a veces de instalar en ellas una tienda o taller, pero carentes del sentido de monumentalidad y sin gran valor arquitectónico ni artístico. Estaban construidas con materiales pobres, como adobe, tapial y ladrillo y madera. Sin embargo, las más cercanas al templo catedralicio, en la Plaza de Regla y las de las calles Canóniga, San Pelayo o Villapérez, se mantuvieron

casi siempre vinculadas a las rentas de la Mesa capitular, era el lugar preferido por los eclesiásticos para su residencia

Fueron estos últimos edificios los que centraron el mayor interés y atención de las autoridades religiosas, no sólo por lo que suponía la proximidad a la iglesia catedral, y, por lo mismo, al centro del poder espiritual, sino por el alto valor urbano que alcanzaron estos solares, cotizados como espacio representativo y simbólico. Se trataba de un área privilegiada, reservada a una población de elevado nivel, religioso, social y económico, como sucedía con los canónigos, prebendados y arcedianos y, por lo tanto, de difícil acceso a otros grupos, excepto los vinculados de alguna forma contractual con la iglesia, como sucedía con el maestro de la fábrica, algunos oficiales, entalladores y plateros de la misma. El prestigio alcanzado por este área urbana, propició su transformación en un barrio de intensa vitalidad, donde se concentraban mercados de abastos locales, a la par que se convirtió en el principal escenario del universo celebrativo propio del Antiguo Régimen, en clara competencia con la Ciudad .

Esta característica de área privilegiada, se mantuvo durante los siglos XVI y XVII gracias a diversas acciones que, además de las reseñadas, contribuyeron a sostener ese carácter. Entre ellas la baja densidad, un aspecto que ya influía en la revalorización económica del suelo urbano donde se levantaban estas viviendas. Esa baja densidad, queda perfectamente reflejada en la configuración del barrio catedralicio, donde se alzaban un escaso número de inmuebles, pero con una superficie siempre superior a los trescientos metros cuadrados. Ello nos da una tipología de casa capitular de características análogas a las señoriales, espaciosas, con amplia fachada y numerosos vanos a la calle, con espacio abierto o patio interior. En ocasiones, como en las calles Canoniga y Villapérez, hay «casas-torres». Los propietarios de estas importantes residencias, es decir, el cabildo y la Mesa capitular, conscientes de su valor, mantuvieron un riguroso control sobre todos los aspectos concernientes a la construcción, reforma y conservación de tales edificios. Para tal fin, a lo largo del quinientos, se estableció una rigurosa normativa y se dieron diversos estatutos donde se recogía la obligatoriedad de conservar y *reficionar* las casas y los trámites necesarios para llevar a efecto esas medidas.[5] Por si existían problemas de dejación de responsabilidades en este campo, el cabildo contaba con la figura de los visitadores, encargados de realizar inspecciones periódicas, que registraban en los *Libro de Visita*, donde no sólo anotaban las obras a realizar sino las sanciones impuestas a los que no hubieran cumplido la norma.[6] Estos comportamientos eran una manera más de asegurar el buen estado el patrimonio inmueble, de evitar modificaciones o ampliaciones que alteraran el conjunto arquitectónico y sobre todo de mantener el carácter privativo de espacio residencial de las autoridades de eclesiásticas.

A pesar de los intentos por mantener una cierta unidad tipológica y formal, dichas viviendas se vieron condicionadas en su configuración global por la diferente función y ubicación dentro del marco urbano. De manera que en el mismo barrio catedralicio encontramos dos modelos distintos; unas, las ubicadas en la plaza de Regla; otras, las del entorno de la iglesia, hacia la calle Canóniga.[7] En Regla se adaptan a la función comercial y a la de escenario público, con soportales y corredores altos; en ellas residían, además de los canónigos, artesanos, comerciantes y pequeños funcionarios. Las de las calles Canóniga, Villapérez, San Pelayo y adyacentes, tienen un carácter netamente residencial y estaban destinadas a las autoridades eclesiásticas o a personalidades de buena posición social. Esa diferenciación queda reflejada en la tipología de las casas de las dos zonas.

Casas de la plaza Regla

A finales del siglo XV el cabildo llevó a cabo la ampliación del espacio ubicado delante del templo catedralicio con el fin de configurar una plaza, destinada no sólo a servir de escenario a las funciones religiosas y todo tipo de regocijos, sino especialmente proyectada para la celebración de mercados. La vocación con la que nacía esta ampliación de la plaza de Regla determinó la construcción de las denominadas «*casas de las Boticas*». Una serie de viviendas, integradas por una manzanas de diez edificios y otra de cuatro,[8] todas ellas pertenecientes al deán y cabildo, que cerraban la plaza por mediodía y poniente. La mayoría fueron levantadas en las primeras décadas del siglo XVI, bajo la maestría de Juan de Badajoz el Mozo (1524-1552), si bien algunas de ellas se reconstruyeron en la segunda mitad de la centuria, con motivo de la ampliación de la plaza por el lado norte trazada por Juan del Ribero Rada entre 1579 y 1583.[9]

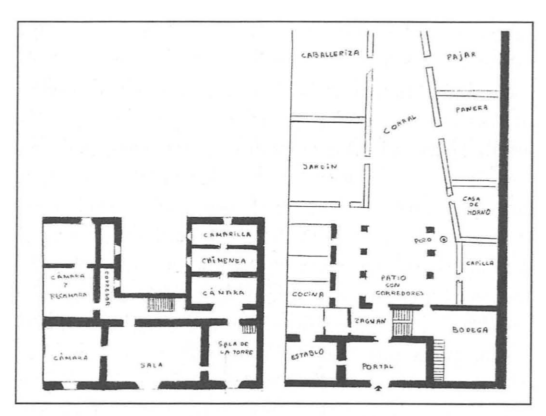
En su configuración de planta y alzado, estas construcciones dejaban traslucir la finalidad funcional del recinto que enmarcaban. Todas ellas tienen características análogas y desarrollan el mismo sistema constructivo. Aunque se aprecian pequeñas diferencias de distribución interna, su aspecto exterior responde a una uniformidad de criterio estético y funcional.

Por las descripciones que de ellas hemos obtenido en las fuentes documentales, especialmente en los *Libros de Visita* del cabildo, podemos afirmar que externamente se trata de edificios carentes de monumentalidad, que siguen modelos de la arquitectura popular en la simplicidad organizativa de los alzados y en la tipología de materiales. Por ello la fachada se estructura en tres cuerpos, el piso inferior corresponde a los portales que se abren a la plaza, integrados por postes de madera con zapatas, sobre basamento de piedra, que sustentan techumbre lígnea de gruesos *vigones,* bajo ellos se cobija la puerta principal de la casa. Por su disposición corrida servían para cerrar cada uno de los lados de la plaza, a modo de soportales. Aquí se instalaron las «boticas» o tiendas que daban nombre a estos edificios, y que representan la voluntad del cabildo de conferir a este espacio una función comercial, en la lucha por hacerse con los mercados de abastos de la ciudad.[10] El segundo piso o planta principal y a veces también el tercero, estaban formados por corredores de madera, con ventanas sobre antepechos de ladrillo, encalados. El corredor principal de cada una de las viviendas comunicaba mediante una puerta lateral con el de la casa contigua, de manera que esta parte se alzaba a modo de balconaje corrido, destinado a servir de lugar privilegiado para visualizar los actos celebrados en el centro de la plaza o delante del templo catedralicio.[11] No en vano el cabildo alquilaba estos corredores a las instituciones locales y a particulares en las principales celebraciones y festividades leonesas.[12]

La estructura interna de las casas era sin embargo más compleja. Su organización carece de regularidad y si bien se organiza en torno a un espacio abierto central, patio o corredor, no observamos en ellas la disposición propia de moradas renacentistas. Carecen de piezas dispuestas en forma enfilada y las dependencias se agrupan de manera arbitraria, en función de las necesidades domésticas y no conforme a una concepción unitaria del espacio. En todos los inmuebles están presentes recintos vinculados a actividades rurales o para el propio abastecimiento, algunos, integrados por espacios abiertos, como huertos y corrales; otros, por espacios cerrados como bodegas, hornos, paneras, leñeras, establos, caballerizas, palomares y gallineros. Lo que demuestra la permanencia de modos de vida tradicionales, aún ligados al sistema de aprovisionamiento alimenticio, propio del mundo rural. La existencia de espacios destinados a estas actividades, dentro del mismo centro urbano local, pone de manifiesto que todavía en los siglos XVI y XVII tales labores seguían desempeñando un papel primordial en la población, incluso en un grupo social como éste, en principio ajeno al sector agrícola. Un hecho que constata cómo el estamento religioso continuaba sirviéndose de las diversas modalidades de rentas agropecuarias para completar sus necesidades de manutención. Estas dependencias siempre se localizan en la parte posterior de la casa, excepto la caballeriza o el establo, que suelen estar cercanos al acceso de la puerta principal, repitiendo esquemas medievales, privativos de las moradas señoriales.

En las casas de Regla, la zona destinada a vivienda, propiamente dicha, se sitúa en la parte que mira a la calle, denominada «quarto delantero». No suele ocupar una superficie amplia y es siempre menor que la parte destinada al servicio y abastecimiento de los recintos abiertos reseñados. En todos los ejemplos, el espacio reservado a vivienda está distribuido en dos plantas, y en algunos ejemplos existe un tercer piso o desván (figura 2).

La planta baja estaba formada por el portal empedrado, al igual que el zaguán, punto distribuidor de ejes en esta zona de la morada, ya que desde él se accedía al patio o corredor inferior, a la bodega, establo, cocina y, a veces, a alguna cámara —incluso taller o tienda— ; de él salen las escaleras que conducen al piso superior. En la parte posterior de la planta baja estaban los corrales, huertos, jardines y recintos anejos ya mencionados. En el piso superior, o principal, se alzaba el «aposento alto» integrado por salas, cámaras, recámaras, chimeneas y corredores. No suelen ser numerosas, y en las descripciones de los *Libros de Visita* solamente se mencionan tres o cuatros cámaras y una o dos salas, con las respectivas zonas de chimenea independientes y separadas de las salas por puertas. Algunas de estas chimeneas cumplían las funciones de cocinas, lo que nos da un promedio de unas cuatro o cinco piezas por casa. Son éstas las habitaciones más importantes y



Fugura 2. Modelo tipológico de las casas del cabildo catedralicio leonés en la calle Canóniga, correspondiente al siglo XVI.

espaciosas, iluminadas bien a través de los corredores de la plaza, o con vanos que se abren hacia atrás, hacia el corral. En ellas se intenta crear espacios confortables, cuidando aspectos como la amplitud, calor, y luminosidad, pero está totalmente ausente el lujo, la ostentación y cualquiera de los modos y comportamientos derivados del sentido señorial, que, sin embargo, sí aparece constatado documentalmente en otras casas del cabildo de Regla, como las de la calle Canoniga, Villapérez, o San Pelayo, siempre habitadas por las autoridades capitulares.

Las *casas de las boticas*, si bien pertenecían al cabildo y deán, eran adjudicadas a los canónigos; éstos las cedían a familiares o las alquilaban con frecuencia a seglares, pequeños funcionarios, artesanos y artistas de la fábrica catedralicia, habituales residentes de la plaza. Aquí vivieron en el siglo XVI desde el insigne músico Juan del Enzina, prior de la catedral leonesa, el canónigo notario Andrés Pérez de Capillas, el licenciado Pérez Olivera, los entalladores Pedro de Salamanca y Maestre Guillén Doncel, el sastre Andrés González, el barbero Cristóbal de Zamora.[13] En ellas se emplazaban los talleres y algunas tiendas, bajo ellas se realizaban actividades comerciales los días de mercado, y sus corredores altos servían como balcón o palco para presenciar las celebraciones en la plaza. En definitiva, constituían un conjunto de casas que preludian las características funcionales del futuro caserío de las plazas mayores barrocas hispanas. Una peculiaridad que no pasó desapercibida a los regidores leoneses, cuando entran en litigio por los mercados vinculados a la catedral y celebrados en torno al templo y cuando realizan importantes esfuerzos por evitar tal competencia, hasta lograr la construcción de la plaza mayor leonesa en el siglo XVII, momento en que la de Regla inicia su declive.

Por lo que respecta a los materiales constructivos, la fábrica externa de estos edificios es de canto rodado, ladrillo y tapial, reservando la piedra de sillería para la puerta principal. Las paredes interiores son *emplentes* de tapial, barro, o adobe, que suelen encalarse. La madera de pino, olmo *negrillo* o roble es utilizada siempre para las techumbres, portales, corredores, escaleras internas y vanos. Es habitual el empleo de pilares de madera, con zapatas, sobre basa de piedra, para sustentar los corredores y los portales. Gruesas vigas conforman los techos de la vivienda. La madera fue también el material más utilizado en los suelos de las salas y cámaras. Las puertas y ventanas de madera, cuentan con cerraduras francesas, aldabas, armellas, y cerrojos siendo éste aspecto uno de los que más atención se le dedican en las visitas de inspección de las casas y en las reformas anotadas.[14] Las tapias de separación de fincas o zonas de servicios se «socalzan» de piedra, cal y arena. Los corrales y patios suelen estar empedrados de «piedra menuda».

Casas del cabildo en las calles Canóniga, Villapérez y San Pelayo15

El espacio comprendido entre estas tres calles configuraba la ubicación del barrio netamente catedralicio y el lugar de residencia de las autoridades capitulares y prebendados de la Iglesia Mayor leonesa. Como tal se conservó hasta la desamortización del siglo XIX, sin apenas variaciones en su configuración formal y funcional.[16] De este amplio conjunto perviven en la actualidad escasos ejemplos en la calle San Pelayo. Eran edificios exclusivamente residenciales, destinados a un grupo de personalidades con alto poder adquisitivo, cierto nivel cultural y buena posición social. Por ello sus esquemas responden a la tipología residencial señorial y difieren de las casas de la plaza de Regla en tamaño, modelo de fachada, distribución interna, incluso en el empleo de algunos materiales.

El número total de inmuebles propiedad del cabildo a los largo de estas tres calles se aproxima a se-

senta casas,[17] cifra que, contrastada con el espacio total que ocupan, nos permite deducir que estamos ante un escaso número de moradas, pero de tamaño considerable. Solían ser solares que superaban los cinco mil pies superficiales (unos 300 metros cuadrados), con dos o más alturas por edificio, lo que duplica y, a veces, triplica el espacio total habitable. Es verdad que en ese cómputo se contabilizan dependencias de cielo abierto, como corrales, jardines y huertos, pero el promedio de lo edificado supera siempre los 200 metros cuadrados por planta.[18] Las casas se localizan a lo largo de las calles, una junto a otra, con amplias líneas de fachada, cuya longitud oscila entre 15 y 30 metros por inmueble. Todo lo cual nos da una escasa densidad de población en el entorno de la iglesia mayor de Regla que contribuye a revalorizar los solares de la zona y a conferirle un carácter de exclusividad, en esta ocasión eclesiástica.

El modelo de casa es bastante similar en todos los casos, tanto en planta como en alzado. Esta unidad tipológica es fruto, una vez mas, de los mismos modos de vida de los residentes para los que estaban destinados estos edificios, claramente inclinados a costumbres señoriales y aristocráticas. Por idénticos motivos también existe unidad de materiales y de sistemas constructivos (figura 2).

De la tipología señorial se toman la amplitud, variedad y disposición de los aposentos internos, sobre todo los del piso superior o zona reservada a vivienda. Apenas se mencionan aspectos que hagan sospechar la existencia de espacios dedicados a la actividad religiosa o cultural de sus habitantes. Tan solo en un caso se alude a «un estudio» y en otro a una capilla dentro de la vivienda. Así en la *casa de gracia* ubicada al principio de la calle Canóniga, residencia del canónigo Francisco de Lorenzana, en 1556, se anotan más de seis piezas, entre cámaras, recamaras y salas, de ellas una está destinada a estudio, además de la sala y cámara grande; tenía corredor y patio.[19] En la misma calle, la casa-torre del canónigo Hernando de Villarroel, habitada en 1556 por Alonso de Villafañe, es quizás la más completa. Limitaba por la zona de levante con la muralla, a la que estaban adosadas algunas dependencias internas, y la fachada principal se abría a la calle Canóniga. Con tres plantas en altura, la más amplia era la planta baja, donde se ubicaban espacios no residenciales, como establo, caballeriza, casa de gallinas, pajar, corral, casa de horno, paneras, bodegas y patios. Contaba con diversas piezas y corredor en la planta alta, además de las ubicadas en la torre. En la visita efectuada en ella en ese año, se menciona la capilla, a modo de pequeño oratorio privado, emplazada en la parte baja; tenía amplio patio interior empedrado, con corredores en tres de sus lados, sobre postes de madera con basas de piedra, en él se ubicaba el pozo con brocal pétreo. Reúne por lo tanto características análogas a las residencias señoriales contemporáneas. Lo que también se constata en la casa-torre de Cristóbal Valenciano, canónigo, en la que se nos ofrecen detalles como el portal principal con guardacantones, o «*piedras grandes*», para descabalgar; la techumbre de pino labrado de la cámara de la torre principal, donde dormía el canónigo, mobiliario, como *armarios de madera donde se pone cántaros y platos*, alacenas, una bodega bien surtida con «casica de platos», cubetas y tinas.[20]

Un modelo de casa que se repetía en las que se habían levantado en esos años cincuenta del siglo XVI, como las «casa nuevas que ha hecho el cabildo, junto a Villapérez» donde vivía el canónigo Hernán Alvarez en 1557.[21] En este caso la enumeración de espacios interiores en planta alta y baja es similar a los anteriores, pero se aprecia, sin embargo, una mayor regularización y un cierto afán de vinculación con el mundo del renacimiento en la existencia de cuatro corredores de madera de roble, en torno al patio central, empedrado y con postes de madera de olmo *negrillo* y basas de piedra labrada. El mismo sentido puede tener la preocupación por el *sumidero* del corral, que ha de ser de cuatro pies de ancho y bien empedrado, destinado a recoger el agua de toda la casa, en un intento de mejorar las condiciones higiénicas y de habitabilidad. Interiormente la vivienda denota un cierto lujo en las cuidadas techumbres de madera, con vigas de *ponjo* gruesas y *çaqueçam*i de pino, salas entarimadas, puertas de roble, ventanas enrejadas, algunas de las cuales se abrían al jardín posterior de la casa.[22]

En la calle San Pelayo han permanecido en pie hasta nuestros días alguna de aquellas casas del cabildo que, aunque fechadas en el siglo XVII, sus características responden a la tipología que venimos describiendo en el siglo XVI (figura 3). Las que encontramos, todavía hoy, confirman las peculiaridades de las casas capitulares, con amplia línea horizontal de fachada, balcones hacia la calle, portada de piedra con el símbolo del cabildo esculpido en la clave, za-



Fig. 3. León. Antigua casa del cabildo catedralicio en la calle San Pelayo.

guán, pequeño patio interior, jardín, corredores, y las habituales dependencias en la zona posterior de la casa para el auto abastecimiento.[23]

Desgraciadamente ha desaparecido uno de los ejemplos más interesantes de la zona, como era la que hacía esquina a las calles San Pelayo y Canóniga, en la cual residía habitualmente desde el siglo XV el maestro de la fábrica catedralicia,[24] es decir, en ella moraron los arquitectos Juan de Badajoz, el mozo, más tarde Juan López y Baltasar Gutiérrez.[25] Estaba emplazada junto a la lonja, y una de sus fachadas y la portada miraban a la calle Canóniga. Por lo que conocemos de su organización interior, no existían indicios que hicieran pensar en la actividad profesional de su habitual morador; tampoco la fachada marcaba la diferencia con el resto de los inmuebles de la zona, como ellos disponía de patio interior, portales con postes de madera, salas y cámaras y, por supuesto, caballerizas, paneras, bodegas, casa de horno.[26]

A modo de conclusión, queremos resumir que las casas del cabildo catedralicio leonés constituyen un capítulo de la historia de la construcción, cuyas tipologías y características jugaron un papel importante en el proceso evolutivo de la configuración arquitectónica y urbanísticas de la ciudad.

Notas y Bibliografía

1. El estudio del patrimonio del cabildo catedralicio en la Edad Media ha sido realizado por Fernández Flórez, J. A.: «Las casas del cabildo catedralicio en la ciudad de León», *Archivos leoneses*, año XXXVIII, núm. 75, 1984, pp. 31-157. En este excelente trabajo se hace amplia relación de las escasas variaciones experimentadas por la propiedad y bienes patrimoniales de la iglesia catedral en el siglo XV y en el momento previo a su desamortización en el siglo XIX. Fernández Flórez toma como punto de partida para su estudio los documentos conservados en el Archivo catedral de León (en adelante A.C.L.), como los *Códices nº 51 y 52*, además de las *Actas capitulares* del siglo XV. Por nuestra parte hemos utilizado los *Libros de Visita* del siglo XVI, especialmente el doc. nº 10271, junto con las *Actas capitulares* de esta centuria y otros documentos relacionados con el tema, como estatutos y normas sobre la construcción de casa del cabildo dadas en 1524, 1525 y 1532, a las que haremos referencia en notas posteriores. Algunos de estos documentos han sido catalogados en García Lobo, V.: *Archivo catedral de León. Colección documental, (1474-1534)*, tomo XIII, nº 61, León, 1999.
2. En el citado trabajo de Fernández Flórez se contabilizan hasta un total de 232 casas propiedad del cabildo de Regla en el siglo XV. Un número similar, con escasas variaciones se constata en los documentos del siglo XVI, y aunque fue decreciendo paulatinamente a lo largo de la Edad Moderna, siempre mantuvo una cifra elevada y muy por encima del resto de los estamentos y propietarios particulares hasta el siglo XIX.
3. Viforcos Marinas, M. I.: *La ciudad de León en el siglo XVII: las fiestas barrocas y su instrumentalización ideológica*, Universidad de León, 1991; Idem, *La Asunción y el Corpus. De fiestas señeras a fiestas olvidadas*, León, 1994.
4. La importancia religiosa, festiva y económica de la Plaza de Regla en la Edad Moderna ha sido ampliamente estudiada por Viforcos Marinas, M. I.: *La ciudad de León en el siglo XVII: las fiestas barrocas y su instrumentalización ideológica*, Universidad de León, 1991; Idem: *El León barroco. Los regocijos taurinos*, Universidad de León, León, 1992; Idem, *La Asunción y el Corpus. De fiestas señeras a fiestas olvidadas*, León, 1994.
5. Entre las diferentes referencias que sobre el particular que se conservan en el Archivo catedral de León anotamos tan solo alguno de los documentos más significativos. doc. *nº 4960, B. Cod. 1, ff 52r y v; 70r y v*, El 27 de abril de 1524 y el 10 de abril de 1525 se toma un acuerdo sobre los trámites que han de seguirse en caso de construcción o reparación de casas del cabildo; doc. *nº 5135*, en 7 de junio de 1532, el deán y cabildo de la iglesia catedralicia de León aprueban los estatutos con la obligación de conservar bien y repara las casas propiedad de la catedral.
6. A.C.L. *Libros de Visita, doc. nº 10271*.
7. A estos dos ejemplos se sumarían otras casas similares a las del resto del caserío de la ciudad sin diferenciación

específica y propias de la arquitectura popular, cuyo análisis queda fuera de los limites de este trabajo.

8. El número de casas que se cita en la documentación oscila entre diez y catorce. Es bastante frecuente citar diez casas contiguas que cerraban la plaza por poniente, frente al hastial catedralicio. El resto se ubicarían seguramente a los lados de mediodía y norte de este espacio.
9. A finales del siglo XV se derribó la casa de D. Gutiérrez González de Quirós, arcediano de Saldaña, para ampliar el espacio de la plaza hasta entonces conformada por calles angostas. Con el derribo de esta casa cuyo solar era propiedad de la catedral, ésta consideraba como propio el suelo de la plaza. El proceso constructivo, proyectado desde finales del siglo XV se desarrolló básicamente a principios del siglo XVI. Campos Sánchez-Bordona, M. D.:«Proyectos urbanísticos de Juan de Badajoz y Juan del Ribero para la ciudad de León», *Anuario del Departamento de Historia y Teoría del arte*, Universidad Autónoma de Madrid, vol. IV, 1992, pp. 145-150.
10. Sobre la lucha mantenida por el cabildo y el Consistorio por los mercados de la ciudad en el siglo XVI existe una amplia documentación. Archivo General de Simancas, *Consejo Real*, leg. 91, fols. 7-II. Archivo Catedral de León, Códices 51 y 52; Libros de Apeos de la catedral de León; Actas capitulares: nº 9.855, fols, IIIr y v, XXVIIIr ; 9.856, fols. XXXIXr; 9.859, fol. XXVIr; doc. 5.787; Archivo Histórico Municipal de León. Existen referencias a estos datos y pleitos en los trabajos ya citados de Martínez Galindo, T.: *La ciudad de León en el siglo XVIII*, León, 1959, p. 22; Viforcos Marinas, M. I.: *El León barroco. Los regocijos taurinos*, Universidad de León, León, 1992; Fernández Flórez, J. A.: «Las casas del cabildo catedralicio en la ciudad de León», *Archivos leoneses,* año XXXVIII, pp 90-92.
11. A.C.L., *Libros de visita*, doc. 10271. Al describir las *casas de las boticas* en la plaza de Regla, en las que vive María de Capillas, hija de Andrés Pérez de Capillas, se afirma que los corredores altos de la plaza comunican por una puerta con los de la casa de Contreras en la que vive Cristóbal de Arguello, y los corredores de ésta, a su vez, tienen comunicación con los de la contigua, la del Licenciado Olivera y ésta con las del licenciado Garabito Reinoso.
12. Ya en el primer tercio del siglo XVI los capitulares de Regla obligaban a los moradores de estas casas a: «*dexar la delantera de dichas casas, que son al corredor baxo todo, y la mitad del corredor alto, a los señores del cabildo el día de sancta María y todas las otras fiestas que se corrieren toros o oviere juegos en la dicha plaça.* (A.C.L., doc. 9864). Tal medida prosiguió en años sucesivos. Sobre este tema vid: Viforcos Marinas, M. I.: *El León barroco. Los regocijos taurinos*, Universidad de León, León, 1992.
13. A. C. L., *Libro de Visita*, doc. 10271, Visita de 1559. Sobre Juan del Enzina y otras personalidades del cabildo residentes en la plaza de Regla vid. Campos Sanchez-Bordona, M. D.: *El Arte del Renacimiento en León. Las vías de difusión*, León, 1992, pp. 93-94.
14. Es interesante constatar la importancia concedida a este aspecto en las visitas de inspección de las casas. En todas las relaciones sobre el tema se insiste en la necesidad de reparar las cerraduras y cerrojos de las puertas y ventanas del inmueble, que son descritas de manera pormenorizada. Un detallismo que llama la atención si tenemos presente que otros aspectos arquitectónicos y constructivos de la fábrica de la vivienda pasan habitualmente desapercibidos para los visitadores. Ejemplos de este hecho que comentamos se comprueban en las *Visitas* de las casas de gracia de la plaza de Regla y calles Canóniga, Villapérez, Candamio, Cardiles etcétera, en 1546 y 1559 (A.C.L.).
15. Son las actuales calles de Cardenal Landázuri, Pablo Flórez y San Pelayo.
16. La pervivencia de estos inmuebles vinculados a la mesa capitular de la catedral queda constada en los *Expedientes de Desamotización* que se guardan en el Archivo Histórico Provincial de León. A este tema ya han hecho referencia los trabajos de Fernández Flórez, J. A.: «Las casas del cabildo catedralicio en la ciudad de León», *Archivos leoneses,* año XXXVIII, pp. 38-50; y de Martín Galindo, T.: *La ciudad de León en el siglo XVIII*, León, 1959.
17. Es difícil precisar el número exacto, ya que la relación varía en los diversos los documentos del archivo catedralicio leonés correspondientes al siglo XVI, al no citar, ni efectuar en cada año la inspección de las mismas casas. En este sentido establecemos 22 casas en la calle Canóniga, 25 en Villapérez y unas 13 en la San Pelayo. No obstante la cifra coincide con las que aportan los trabajos citados de J. A. Fernádez Flórez para el siglo XV, los de T. Martín Galindo para el siglo XVIII y con los *Expedientes de Desamorización* del siglo XIX.
18. Los datos han sido estructurados a partir de los citados documentos de los siglos XV y XVIII en contraste con los *Expedientes de Desamortización* de 1842, correspondientes a los inmuebles de estas calles. Una vez más hemos de citar los datos del estudio de Fernández Flórez, J. A.: «Las casas del cabildo catedralicio en la ciudad de León», *Archivos leoneses,* año XXXVIII, pp. 38-50.
19. A.C.L, *Libro de Visita*, doc. 10271, visita de1556.
20. A.C.L., *Libro de Visita*, doc .10271, visita de 1546. Esta casa lindaba con las del licenciado Ballesteros, arcediano de Valderas.
21. A.C.L., *Libro de Visita,* doc. 10271, visita de 1557.
22. Ibidem.
23. En esta calle residían en el siglo XVI los canónigos Diego de Valderas, el mayor, Rescuro, Francisco de León.

24. En ella vivieron en el siglo XV Maestre Jusquín y más tarde, hacia 1450 Alonso Ramos (A.C.L., Códices 15 y 51).
25. A.C.L., doc. 10.727, fol. 1r; 10.728, fol. 1r; *Libro de Visita* doc. 10271, visita de 1557. Campos Sanchez-Bordona, M.D.: *Juan de Badajoz y la arquitectura del Renacimiento en León*, León, 1993, pp 40-50.
26. A.C.L., *Libro de Visita,* 1557. En este caso la descripción del inmueble se hace cuando reside en él Juan López, maestro de la fábrica catedralicia, pp. 40-50.

Bóvedas de madera: ¿se pueden construir según describen los tratados?

Angel L. Candelas Gutiérrez

Afortunadamente han llegado hasta nosotros los textos de tres autores que, aunque ya en el siglo XVII, recogen parte de los conocimientos que poseían los carpinteros de lo blanco de la España medieval. Nos referimos, evidentemente, a los textos de López de Arenas (1619, 1632 y 1633), Fray Andrés de San Miguel (h. 1640) y Rodrigo Álvarez (mitad del XVII). Estos autores describen muchas características constructivas y formales de armaduras que generalmente se identifican con el nombre de carpintería de lazo o carpintería mudéjar.

El texto de Fray Andrés y el primer manuscrito de López de Arenas (1619) han sido magistralmente estudiados por E. Nuere (1985 y 1990). El manuscrito de Álvarez, aún inédito, queda transcrito en nuestra tesis doctoral, donde también se interpreta gran parte de su contenido.

Lo relacionado con bóvedas y cúpulas aparece en el texto de Fray Andrés y en el texto impreso de López de Arenas (1633), esto último como una nueva aportación con respecto al manuscrito de 1619, donde apenas se trata este tema, de ahí que no aparezca interpretado en el libro citado de E. Nuere (1985).

La construcción de armaduras de cinco paños, otra de las formas utilizadas para conseguir techos abovedados, esta vez facetados, aparece en los textos de los tres autores, pero sólo en el texto de Álvarez se incluyen con cierto detalle las operaciones necesarias para el replanteo y ejecución de estas armaduras.

Se presenta en esta comunicación la interpretación de las reglas que nos ha dejado López de Arenas[1] para la construcción de bóvedas y cúpulas, reglas que, como veremos, no llegan a describir en su totalidad la construcción de este tipo de armaduras, pero que tienen la virtud de resaltar aquellos aspectos más complejos, aquellos que los propios carpinteros de su época tendrían dificultad en realizar, soslayando lo comúnmente conocido, aunque hoy nos sería de gran utilidad.

Tanto Fray Andrés de San Miguel como López de Arenas describen en sus tratados dos tipos de armaduras curvas: la *media naranja* o cúpula esférica y la *media caña* o bóveda de rincón de claustro, sin embargo, el proceso constructivo que definen es sensiblemente distinto, para las construcciones de Fray Andrés es preciso remitirse al texto de E. Nuere (1990), donde quedan correctamente interpretadas.

La *media naranja*, o cúpula esférica.

Arenas comienza con la descripción de algunas construcciones geométricas necesarias para la ejecución de lo que denomina una *media naranja*, es decir una cúpula esférica, que tendrá un desarrollo algo mayor que el semicircular, siendo su sección más parecida a un arco de herradura que al arco de medio punto; al sector de esfera que sobrepasa la línea del ecuador lo denomina «bolsor».

La esfera presenta, tanto para su representación como para su ejecución, el inconveniente de que no es una superficie desarrollable, y los carpinteros de

lo blanco no optaron por la fácil vía de su asimilación a una superficie facetada de caras planas. Arenas ejemplifica el proceso con un esfera dividida en diez husos —*cascos*—, en los que conserva la doble curvatura:

> Si la quisieres hazer en diez cascos, la demostraré aquí toda enteramente,... (López de Arenas, 1633, h. 32v).

La descripción de Arenas se apoya con dos dibujos de construcciones geométricas (figuras 1 y 2) y otro de un huso de cúpula terminado y con la configuración de lazo (figura 4). Arenas se centra en la descripción de tres cuestiones: la obtención del perfil de los camones adyacentes a los meridianos, la definición de su longitud, y por último, el desarrollo de la esfera. Como punto de partida define el *bolsor* —peralte de la semiesfera— para el que adopta una longitud equivalente a un sexto del diámetro:

> Sea la quadra y buelta redôda de su estribo A.B.C.D., haz su anchura seis partes la línea que la corta por el cétro, y della baxate con una sexta parte, como lo dize E.F., y pon el punto del compas en el centro del quadrado, y punto G. y descrive alrededor una parte del circulo, enpeçando en el punto E. y acabando enel punto F. acrecientale agora los peraltes en esta parte del circulo, y quedaran inclusos los dos camones,... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

La no coincidencia de los camones con el plano medio de la esfera obliga, para una perfecta apariencia de continuidad en el grosor de la cara vista y para el paralelismo de sus caras verticales, a efectuar una corrección geométrica conocida como «campaneo».

> ... y en la planta sacaràs los campaneos que tiene cada camón, dandoselos por la orden que se da a la campana de la lima de la media caña... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

Arenas avisa aquí la necesidad del *campaneo*, aunque no lo describe, más adelante veremos el proceso con el que se efectúa este trazado en la *media caña*.

La siguiente preocupación de Arenas es conocer la longitud de los maderos que deberá utilizar para los camones. Se asiste aquí a una curiosa contradicción en los razonamientos de López de Arenas. Como veremos, obtiene la longitud del camón utilizando una relación numérica, sin apoyatura científica alguna, sólo válida para el *bolsor* previamente definido (1/6 del diámetro). Sin embargo, a Arenas, poseedor de una importante cultura, le debe repugnar tal vaguedad, que le habrá llegado por tradición oral, y quiere demostrar que sabe obtener con precisión y fundamento la longitud de una circunferencia —aplicando una aproximación atribuida a Arquímedes—, aunque luego no la utilice. En efecto, Arenas comienza exponiendo la regla de Arquímedes, que es una buena aproximación al número (22/7 = 3,1428):

> ... conformandonos con la proposicion 32 del libro primero de Arquimedes, que todo diametro hecho en siete partes se avrá con su circunferencia como siete con veinte y dos, segun esto el casco ha de tener onze tamaños, que es la mitad:... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

Sin embargo, de una forma un tanto subrepticia, obtiene la longitud del par curvo declarando que está aplicando la regla de Arquímedes, pero apartándose radicalmente de tal definición:

> «...: tira en la planta la linea K.L. que passe por el tocamiento del diametro, y circulo en el punto H. divide la dicha linea K.L. en onze partes, que es la mitad de la buelta, y este será el largo de cada uno de los diez cascos de la dicha media narája» (López de Arenas, 1633, h. 32v)

Para comprender el trazado hay que trasladarse a la página siguiente del texto impreso, allí aclara la posición de la línea K.L.:

> Estas otra demostración de la buelta redonda, H.Y. demuestra su anchura, y linea que corta su centro: y la linea M.L. es la que demuestra (estando una sexta parte distante de la del centro) el largo del casco, que es la linea K.L. (López de Arenas, 1633, h. 33)

En definitiva, Arenas obtiene la longitud del camón simplemente trazando la línea KL, definida por la prolongación de la línea KH hasta que corta una paralela al diámetro a la altura del bolsor (ver figura 1). La división en once partes de esta línea, que el propio Arenas refleja en el dibujo, no se utiliza para nada ni tiene objeto alguno. Se debe interpretar que es un artificio de Arenas para simular la aplicación de la regla de Arquímedes.

Lo más sorprendente es la gran precisión del procedimiento. Hemos comprobado que, para la longitud del bolsor utilizada por Arenas (1/6 del diámetro)

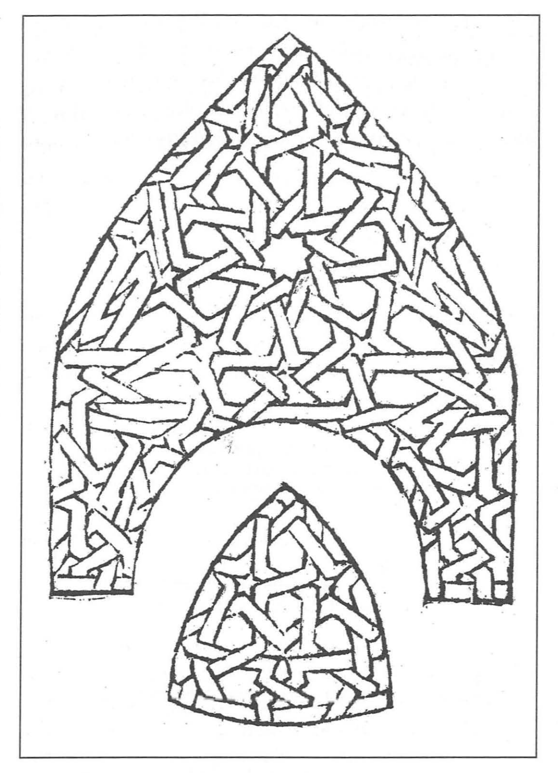


Figura 1

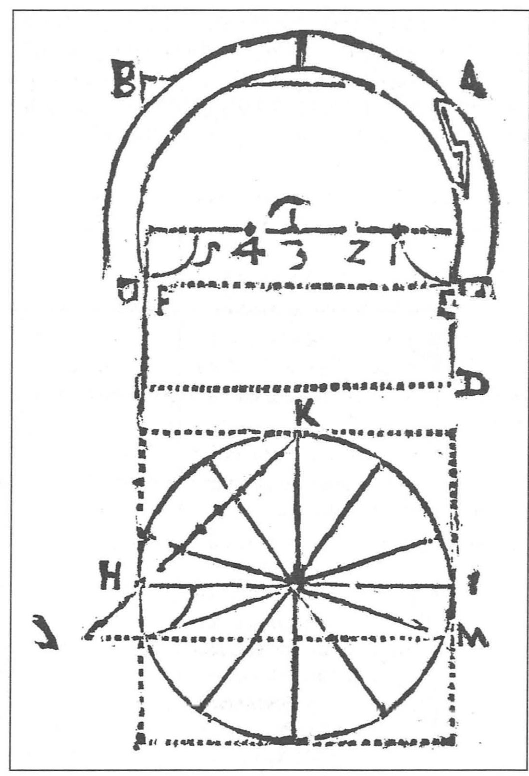
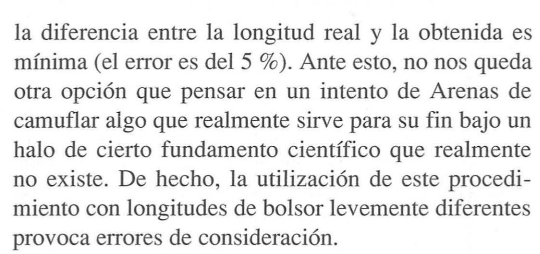


Figura 2



la diferencia entre la longitud real y la obtenida es mínima (el error es del 5 %). Ante esto, no nos queda otra opción que pensar en un intento de Arenas de camuflar algo que realmente sirve para su fin bajo un halo de cierto fundamento científico que realmente no existe. De hecho, la utilización de este procedimiento con longitudes de bolsor levemente diferentes provoca errores de consideración.

En la hoja 34 encontramos un nuevo dibujo (figura 2), que representa el desarrollo de la cúpula en diez sectores, las dimensiones de este dibujo no dejan lugar a dudas sobre su relación con los anteriores de la hoja 33v (figura 1). Efectivamente, la línea KL tiene la misma longitud que la línea dividida en once partes que aparece en el centro de la figura y que representa la longitud, en verdadera magnitud, del sector. Asimismo, la longitud de la línea NO, que representa el perímetro desarrollado del circulo máximo de la esfera, corresponde a un diámetro similar al representado en la anterior figura.

La construcción de este dibujo se contiene en el siguiente párrafo:

> Toma en diez partes la buelta redonda estendida en linea recta, y dalos en la linea recta N.O. de la segunda demostració, que será el asiento de los duiez cascos propuestos con sus bolsores; da otras lineas rectas paralelas que seran P.Q.R.S. al largo de la linea K.L., y corta estas tres lineas en angulos rectos dados al ancho de los diez cascos, y las lineas de los extremos que son P.Q.R.S., partiras por mitad los paralelos de los cascos con una linea de puntos secretos; los quales diez puntos seran las diez puntas de los diez cascos; y luego tira por infinito la linea N.O. al ancho de los diez cascos, que vayas buscando los cétros de las porciones de circulos que demuestra los cascos como aqui se demuestra... (López de Arenas, 1633, h. 32v)

La interpretación del párrafo anterior y su correspondiente dibujo la efectúo en la figura 3, aunque

creo necesario incluir algunas aclaraciones adicionales. Los primeros pasos sirven para replantear el mbito de cada sector de esfera, sector que tendrá una base igual a la décima parte del perímetro y una altura —la línea K.L.— que se obtuvo con el extraño procedimiento antes descrito. La expresión «tira por infinito la línea N.O. al ancho de los diez cascos», significa prolongar la recta NO una longitud equivalente al perímetro del círculo, prolongación que se hace necesaria, pues en ella estarán los centros de los

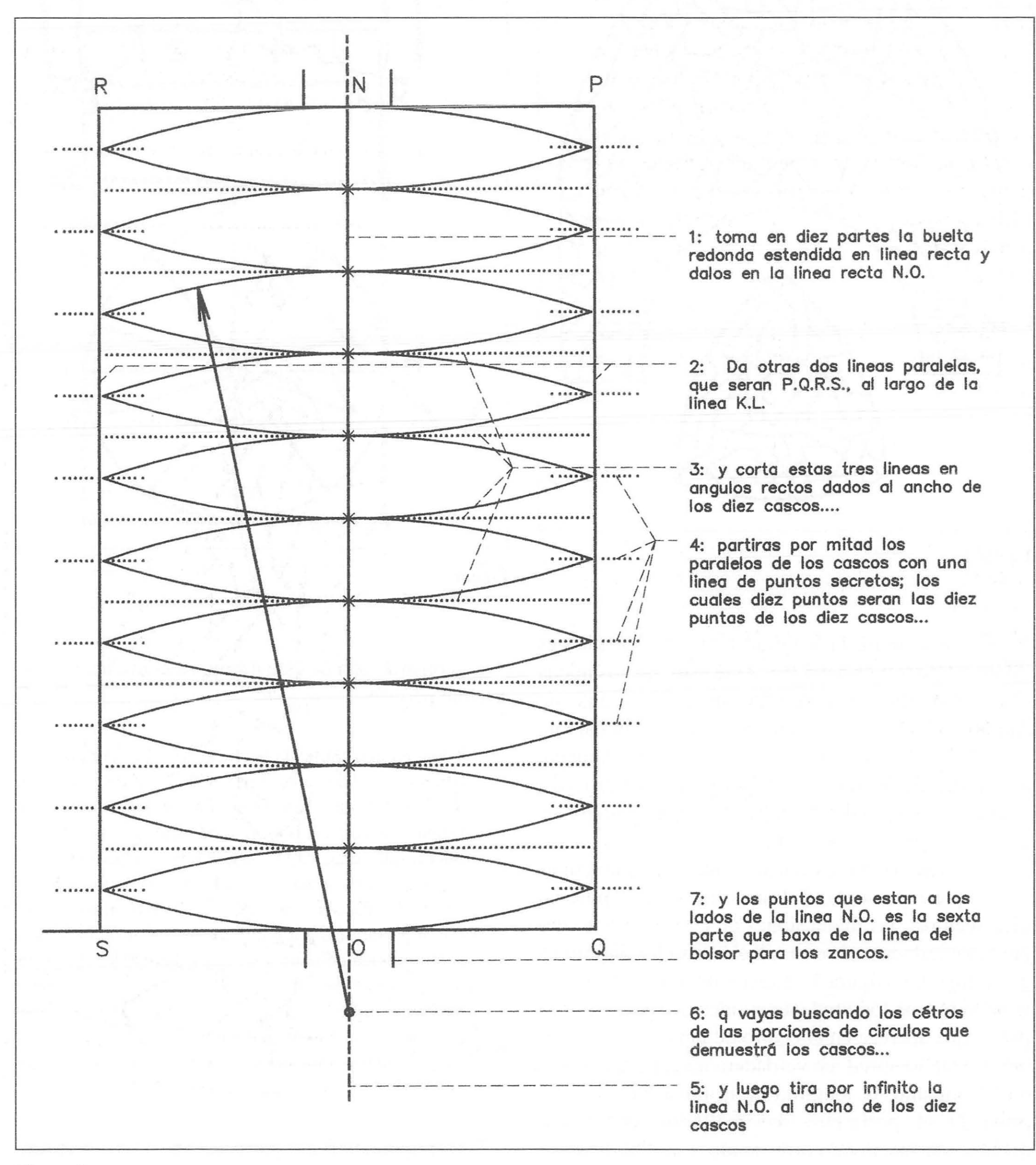


Figura 3

arcos que delimitarán los sectores. Por último, Arenas asume que el contorno de cada sector queda definido por un arco circular, situación no exacta pero perfectamente asumible,[2] no indica cómo, pero anima a buscar en esta recta los centros de los citados arcos.

Para completar el trazado de Arenas, hay que trasladarse a la hoja 33v, pues allí, como comentario a la figura de la hoja 34 (figura 2), indica el significado de un par de líneas cortas situadas adyacentes a los puntos N y O, estas líneas representan el ecuador de la esfera, el espacio entre ellas y la linea N.O. es el *«bolsor»*. Arenas se ha permitido la licencia de considerar el ancho máximo del sector en la parte final del casco, y no en la línea del ecuador, como debería ser en realidad. Esta aproximación no influye en absoluto en el trabajo de carpintería, al ser insignificante el error; a modo de ejemplo, en la cúpula del salón de embajadores del Alcázar de Sevilla, la diferencia entre la longitud de la cinta inferior y la longitud del ecuador es, en cada huso, inferior a 1 cm.

> ..., y los puntos que estan a los lados de la linea N.O. es la sexta parte que baxa de la linea del bolsor para los zancos. (López de Arenas, 1633, h. 33v)

Como terminación de su descripción de cúpulas esféricas aborda dos temas, por una parte una escueta referencia a los empalmes de los maderos y, por otra parte, un ejemplo de sector de esfera relleno de lazo, también señala algo relativo a proceso de trabajo: la ejecución a escala 1:1 de las plantillas de los camones:

> Y en quanto a los empalmes de los camones, se hara conforme se demuestra en los dos camones de la primera demostracion, traçando primero en un suelo llano, y a proposito, los dichos camones; y en la misma traça dellos se iran sacando sus plantillas con su diente, como parece en la demostracion; porque no avrá madera que alcanze a dar todo el camon con la buelta que ha de menester. (López de Arenas, 1633, h. 33v).

En la primera figura (figura 1) incorpora tres detalles que tienen su importancia; por una parte se observa claramente[3] una espiga en la parte inferior del camón, que sustituye a la formación de patilla y barbilla, y que servirá para la unión del par curvo —camón— con el estribo; por otra parte aparecen dos uniones sabiamente colocadas, una unión a tope en la clave, y una unión en rayo de Júpiter en un punto intermedio del arco.

Arenas cierra el tema representando un sector relleno de lazo de una cúpula dividida en seis partes. La composición resultante es una estrella de seis puntas en la clave y semiestrellas de ocho puntas en la unión entre cascos (figura 4):

> ..., pondremos tábien un casco de una media naranja, vestido y cuaxado de su lazo, que será uno de seis, que llevará una media naranja, que desde la A. la cercha de abaxo es su largo del casco. Y A.C. es una de las seis partes que ha de ocupar en la buelta redonda de su

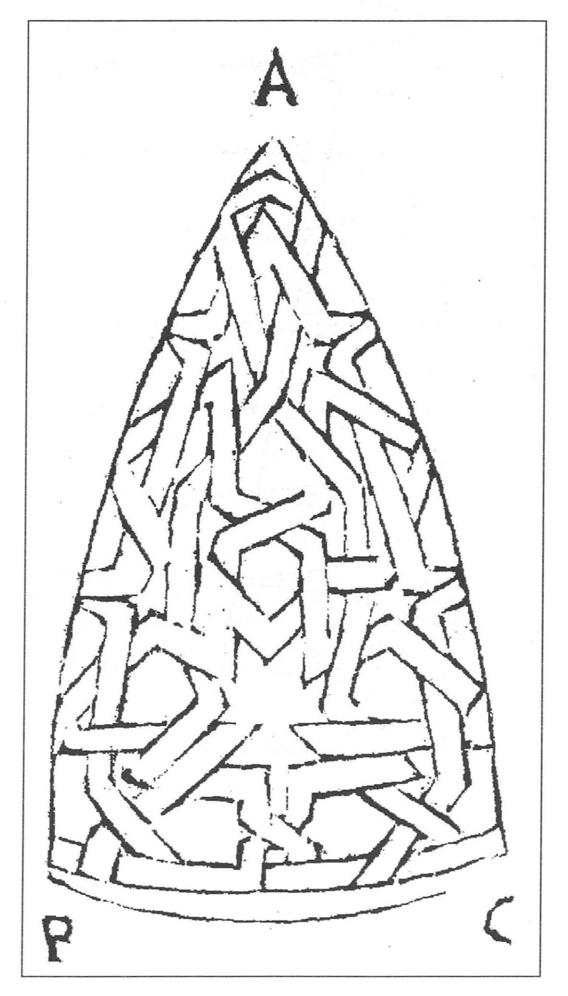


Figura 4

> estrivo, la cual demostración para obralla sacaras sus baibeles por el orden y modo que en la de los diez cascos: y en quanto al lazo, se metera conforme la muestra lo dispone, como adelante se demuestra. (López de Arenas, 1633, h. 33).

LA *MEDIA CAÑA*, O BÓVEDA DE RINCÓN DE CLAUSTRO

A las cúpulas habitualmente conocidas como «bóvedas de rincón de claustro», las llama Arenas «media caña», y a ellas dedica la segunda parte de su incursión en el campo de las superficies abovedadas en madera.

Una bóveda de rincón de claustro, en la carpintería de armar, se puede entender como una armadura de cuatro vertientes, de base cuadrada, en la que los faldones tienen curvatura cilíndrica en lugar de ser planos, los maderos situados según las diagonales del cuadrado se denominan en ambos casos limas; los maderos que acometen perpendicularmente a los lados son los pares en armaduras planas y los camones en las abovedadas.

Arenas comienza con una breve introducción a lo que va a desarrollar, donde señala la existencia de varios métodos para obtener la forma elíptica —escarzana— de las limas:

> Muchos maestros passan por alto el saber mótear un arco, el qual es de importácia a los Maestros albañires, y a los Maestros carpinteros para muchas ocasiones; y una dellas para la lima, y campana de la media caña; por que levanta poco, siendo escasana, por el testero y gualdera, menos armarà las limas, por ser las tiráteces mas largas q armá media calle mas adentro que el rincon, que es la misma diagonal, para que quede su calle de limas: y aunque es verdad que monteada por sus pesos, y plomos, y desse modo se montean, me parece bien montealla por el arco del hilo, sabiendola bien; porque las tirateces son desiguales, y an de clavar a un peso, y en un punto; camones y limas tienen sus centros algo escuros. (López de Arenas, 1633, h. 34v y 35)

Como se lee, nombra dos procedimientos: «por sus pesos y plomos», que no describe, pero que conocemos gracias a la descripción de Fray Andrés de San Miguel, interpretada por Nuere (1990: 298-301) y «por el arco del hilo», haciendo referencia con esta expresión a una de las formas más comunes de trazar una elipse conocidos sus ejes, procedimiento que describe con detalle, y que no reproduzco por la limitación de espacio de esta comunicación.

La obtención de los camones no presenta dificultad alguna, basta con cortarlos —o curvarlos—, con un radio igual al semiancho de la estancia, de ahí que Arenas preste escasa atención a estos elementos.

La dificultad se presenta en la definición de las limas, y a ello dedica Arenas la mayor parte de su texto. La complicación deviene de la conjunción de un problema estructural —las limas deben recibir las cargas de los camones— con un problema formal —la configuración del lazo impone a la lima un ancho constante en la cara inferior y además las caras interiores entre limas adyacentes deben ser verticales—, las limas deben tener lo que Arenas denomina «campaneo».

Antes de adentrarme en la interpretación del texto, creo conveniente explicar qué es la «campana» y de dónde proviene su necesidad. En una armadura de paños rectos de dos o más vertientes, para ejecutar la arista que se forma entre dos vertientes consecutivas se pueden utilizar dos disposiciones: materializar la arista con un madero, —que toma el nombre de lima bordón—, o utilizar dos maderos, situados cada uno en su paño, que siguen la directriz marcada por la arista, las dos limas que así aparecen toman el nombre de limas moamares, siendo un rasgo característico de la carpintería de armar española.

Las geometría de la sección de las limas moamares, en armaduras rectas, queda definida por cuatro estrictas condiciones: en primer lugar, la cara inferior debe tener el mismo ancho —para contribuir a la configuración del lazo— y quedar en el mismo plano que el resto de las caras inferiores de los pares del mismo paño; en segundo lugar, la cara superior debe ser también coplanaria con la del resto de los pares —para no provocar resaltos en la cobertura-; en tercer lugar, la cara lateral adyacente a los pares debe ser perpendicular al plano del paño; en cuarto lugar, y debido a la gran sutileza y grado de perfección a la que llegaron los carpinteros de lo blanco buscando un correcto efecto visual, las caras laterales adyacentes de dos limas moamares deben ser paralelas y, condicionado por la simetría, verticales. Estas condiciones provocan que, en armaduras de paños rectos, las limas tengan sección trapezoidal, a esta sección se le denomina «campana». Esto es lo que se consigue, con absoluta perfección geométrica, siguiendo el proceso que nos describen tanto Arenas como San

Miguel o Rodrigo Álvarez para armaduras de faldones planos.

El problema a solucionar en las armaduras de pares curvos es el mismo que se produce en las armaduras de pares rectos, pero la solución es mucho más compleja, pues hay que sumar el efecto de la curvatura de las limas. Arenas lo plantea así:

> ... y esto sera desde la barbilla hasta los copetes, en los quales no tienen las limas campana alguna; y por abaxo tienen de campana todo lo que tiende la cola del cuadrado por el gruesso de su madera, y esto es por la patilla; y para dar la campana a las limas, que por una se entenderan las demas, dandole a las quatro la campana diferéte que a las otras, porque han de ser quatro derechas, y quatro izquierdas, que para dalle la campana, como dicho es, haràs assi. (López de Arenas, 1633, h.35v).

El problema queda correctamente enunciado: se trata de buscar las superficies que unen la sección rectangular de la lima en la clave y la sección trapezoidal que se produce en el estribo. La sección rectangular en la clave es evidente, para comprender la sección trapezoidal puede ser preciso hacer alguna aclaración, que además ayuda a comprender el efecto óptico que se persigue con el campaneo. La cara interior de la lima se utiliza, conjuntamente con la de los camones, para formar el lazo, ello obliga a que esta cara conserve un ancho constante y a que quede incluida en la superficie cilíndrica. Así, en el arranque la superficie de esta cara debe ser vertical pero, al mismo tiempo, la directriz de la lima debe formar un ángulo de 45º con respecto a los camones; por otra parte, se quiere provocar el paralelismo de la cara lateral externa con la simétrica de la lima adyacente y simultáneamente se quiere que la cara lateral interior —la que queda junto a los camones— sea normal a estos en su punto de encuentro. Estas condiciones definen la sección trapezoidal en la base y la curva a describir, y da como resultado una cara plana y tres caras alabeadas.

Como inciso, resulta interesante comparar estas sutilezas geométricas con la construcción de las bóvedas nervadas coetáneas de las aquí descritas. En éstas, los nervios conservan su sección completa, rectangular en general. Los canteros, al no tener que utilizar los nervios como soporte de la lacería, no se ven obligados a modificación alguna, y los nervios pueden salir de la superficie de muro, generalmente mediante pequeñas ménsulas, girados con respecto al plano del muro soporte

La solución del problema comienza con la descripción del grueso con el que se debe cortar la lima, y que después será objeto de rebaje en una de sus caras para ajustarse a la sección correcta en cada punto:

> Quando le dieres el gruesso a las limas, se lo daras imaginando aquella cola de quadrado añadido al mismo gruesso, suponiendo, que ha de estar ya ajustada con sus dientes, y como ha de estar, por la parte de abaxo despues de desalabeada, y acepillada por la tabla de adentro,... (López de Arenas, 1633, h.35v).

En la primera parte del párrafo se contiene la descripción exacta del grueso que debe tener el madero que se usará para la lima, que obviamente viene obligado por la máxima sección que ésta puede alcanzar, sección que se produce en el encuentro con el estribo, allí la lima tendrá la sección trapezoidal que vemos en la figura 5, el madero preciso para construir la lima tendrá por tanto el alto de los pares y como grueso la mínima sección rectangular que englobe a aquella trapezoidal.

Es preciso hacer notar que esta forma de escuadrar la lima está en estrecha relación con las reglas dadas también por Arenas para obtener el alto de los pares en función de su grueso, de modo que si el alto de los pares no guardara estrictamente esta relación, la sección que obtendríamos para la lima sería inservible.

En el párrafo anteriormente citado se contienen unos comentarios que pueden dar lugar a dos interpretaciones distintas, ambas relacionadas con el proceso de trabajo a llevar a cabo en el tallado de este elemento. La duda reside en si una vez obtenido el madero con el grueso apropiado éste se curvaba o si bien se cortaba con el perfil elíptico para, en ambos casos, posteriormente tallar el descuadre de la campana. Las palabras de Arenas son en este punto confusas, su lectura más directa parece indicar que el madero se curvaría previamente —*ya ajustada con sus dientes, y como ha de estar*—. La siguiente palabra —*desalabeada*—, puede hacer referencia a eliminar las deformaciones que se producen en un proceso de curvado, ciertamente no tendría sentido eliminar la curvatura, tras el engorroso proceso de curvado. No obstante, en el párrafo que a continuación reproducimos, parece indicarse que el procedimiento sería cortar los maderos en forma curva:

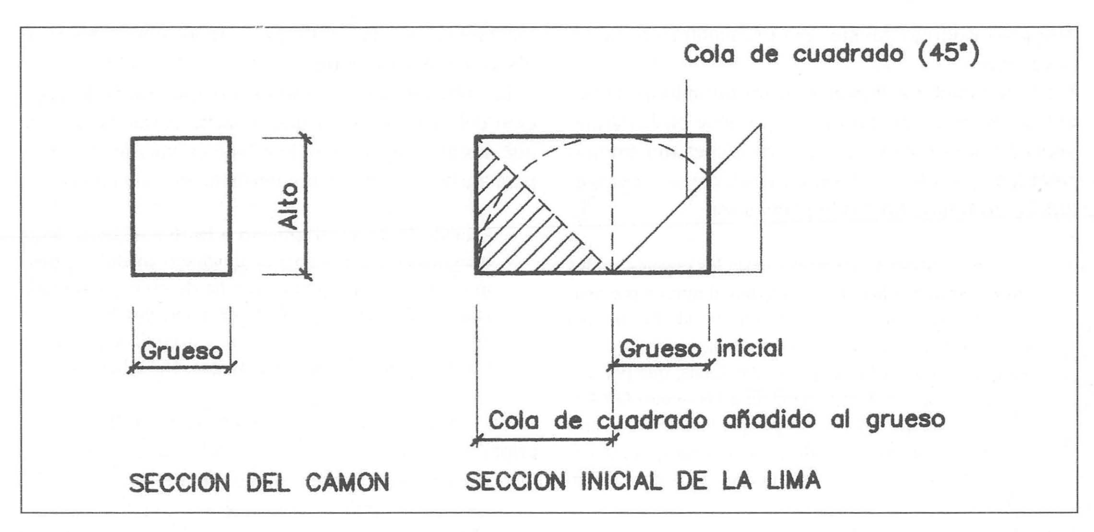


Figura 5

En estas monteas se sacaran las plantillas, las de la lima para la lima; y las de los camones para los camones; y sacado el gruesso de la madera por las muestra, se le dara su gruesso, sacando de la madera que mas buelta tuviere, la parte que señalare la plantilla con su medio diente, como queda demostrado. Y hecho esto con mucho cuidado, se rodeara con una sierra, y se ajustaràn los dientes de sus pieças conforme a la montea. (López de Arenas, 1633, h.35v).

La formación de la campana la describe Arenas meticulosamente en el siguiente párrafo:

...antes de clavar el taujel, como queda dicho, la sacaras con un traço al gruesso que pide su muestra, y por arriba harás lo que se sigue. Repartela desde la patilla al copete en diez y seis, o veinte tamaños, los que te pareciere, y mientras mas, es mejor. Y supongo la hiziste veinte tamaños desde la patilla al copete en cada uno de los puntos de los diez y nueve tamaños que causan los veinte puntos, passaras con un cartabon los traços de quadrado en cada punto, y esto en la parte alta. Toma agora solamente lo que tiene de campana por la patilla, que fue la cola del quadrado, por su gruesso, y hazla diez y nueve partes: echa agora un traço de quadrado, y dexa esto assi; toma el marco con que señalaste el grueso de la lima por debaxo, y señalale su grueso por arriba; y por que hiziste veinte tamaños todo el largo de la lima, toma en un compas uno de los diez y nueve que avrás hecho aquella cola de quadrado por el gruesso, y empeçando por el copete donde estuviere el primer traço de quadrado, demas de su gruesso, le añadiras uno; y en el segundo punto en el traço quadrado le daras dos, en el tercer punto tres, y en el quarto quatro: y deste modo iras creciendo por todos los traços de quadrado hasta llegar al traço antes de la patilla con diez y ocho tamaños, para que por la misma patilla tenga los diez y nueve que avemos dicho: toma aora un hilo de almagra, y desde el copete al primer punto lo señalaras con el hilo, y del primer punto al segundo señalaràs con el hilo, y del segundo al tercero, y del tercero al quarto, y deste modo irás multiplicando, y te quedará señalada la campana que pide la dicha lima: toma ahora una sierra, y asierra esta campana, guardando el traço por la parte de abaxo, y por arriba el del hilo de almagra, y acepillandola por la parte de la tabla, le clavaras el taujel por debaxo, como queda dicho, y le meteras el laço conforme a la muestra:... (López de Arenas, 1633, h.36).

Hemos intentado construir una lima siguiendo el procedimiento descrito por Arenas, partiendo de un madero cortado con la curvatura elíptica correspondiente y los resultados han sido infructuosos, nos atrevemos a decir que es imposible. Ahora bien, en el conjunto de los tratados sobre carpintería no aparece una sola construcción imposible de llevar a cabo,[4] lo que nos lleva a confiar en la descripción de Arenas —similar por otra parte a la que expone Fray Andrés de San Miguel— y buscar la posibilidad de su fabricación.

Tras desechar otras posibilidades hemos llegado al convencimiento de que la única forma posible es partir de un madero rectilíneo y provocarle un curvado para adaptarlo a la superficie cilíndrica de directriz elíptica y simultáneamente aplicarle una torsión variable entre 0º en su comienzo y 45º en la clave.

Este proceso, evidentemente complejo, se puede llevar a cabo de dos formas distintas: girando y torsionando el madero de sección trapezoidal —utilizando como molde de ajuste una pared elíptica de suficiente resistencia, a la que se deberá ajustar la cara interior vista—, para posteriormente tallar la campana; o bien provocar en el madero recto la sección variable descrita, para después darle el giro y la torsión necesaria.

Ambos procesos son posibles, pero el último nos parece de más fácil ejecución y es el que se detalla a continuación.

En la figura 6 se resume el proceso de formación de campana en un madero recto, siguiendo los pasos descritos en el tratado. El madero que obtenemos tiene una sección variable, rectangular en lo que correspondería a la clave y trapezoidal en el estribo, tres de sus caras son planas y la cuarta es alabeada. La lima que necesitamos debería tener las secciones descritas pero solamente una de sus caras debe ser plana, precisamente la que ahora tenemos alabeada. Pero esto, en lugar de ser un problema facilita la consecución de la forma definitiva de la lima.

Según esta hipótesis, el carpintero comenzaría trazando en el suelo de trabajo la elipse que habrá de tomar la lima, con el proceso antes indicado escuadraría un madero y tallaría con su forma alabeada la cara correspondiente de la lima. Tras ello fijaría rígidamente un extremo, apoyando en el suelo la cara donde se talló la campana, el carpintero iría ajustando una arista de la lima a la elipse trazada, forzando simultáneamente a que la cara de la campana vaya ajustándose al suelo, transformando la superficie alabeada en plana. Al ir curvando la pieza de esta manera, las diferentes secciones transversales van girando —el resto de las caras pasan a ser alabeadas—, pero la forma de cada sección no se pierde —los ángulos entre las caras se conservan—. Con ello, la que posteriormente será la cara interior, la cara vista, irá pasando de la inclinación a 45º que tiene en el inicio

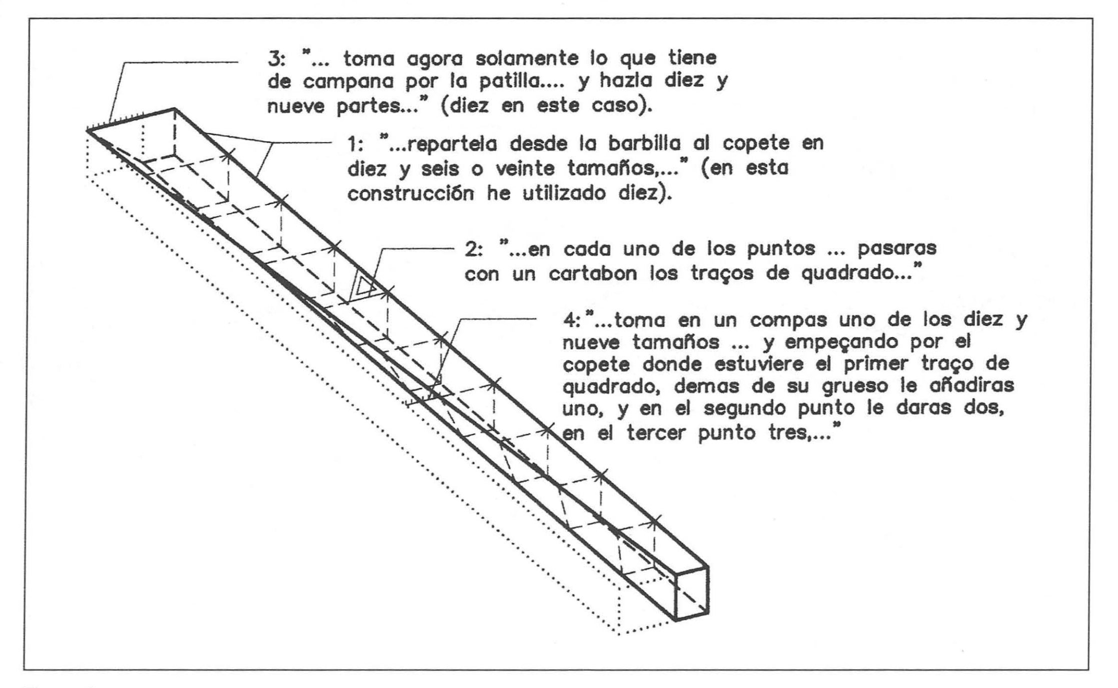


Figura 6

a los 90º de la clave, lo que permite ademas colocar rodillos de ajuste verticales en la clave que facilitan el curvado (ver figura 7).

Para comprender el proceso el lector puede hacer un pequeño ejercicio; si toma un listón y lo intenta curvar observará que es mucho más fácil curvarlo si apoya una de las caras que si apoya solamente una arista.

Cualquier procedimiento que tome como punto de partida formar la campana de la lima en una pieza cortada en forma curva, se encontrará con la enorme dificultad de que además de ir reduciendo la sección necesitará tallar cada una de las caras para alcanzar la forma alabeada precisa. Si así fuera, la descripción de Arenas seria sumamente incompleta, e incluso hoy, con procedimientos automatizados de corte y tallado, su construcción presentaría serias dificultades.

El curvado de los maderos es ciertamente una operación difícil, aunque no descartable. De hecho, y aunque referidos a elementos de menor grueso, se conocen procedimientos antiguos para ayudar al curvado, utilizados en la carpintería de ribera o en la tonelería, uno de ellos es introducir la madera muy húmeda en arena caliente. Se considera (cfr. Stevens, 1973) que el límite del radio de curvado está entre 50 a 13 veces el espesor, en función de la especie y la utilización o no de procedimientos de calentamiento o vaporizado. Como ejemplo, una armadura de siete metros de ancho podría usar maderos con un grueso —canto— de unos 15 cm, lo que da una relación radio-grueso de 25, perfectamente asumible.

La forma definitiva de las limas en este tipo de armaduras queda reflejada en la figura 8.

Arenas termina su tratado con una figura (figura 9) que puede ser la construcción más compleja de todas las contenidas en su tratado, se trata de una bóveda de rincón de claustro a la que se añaden cuatro capillas de cuarto de esfera, él la presenta así:

> Y para facilitar más lo dicho, pondre aquí esta muestra de media caña del lazo de nueve, y doze, có sus quar-

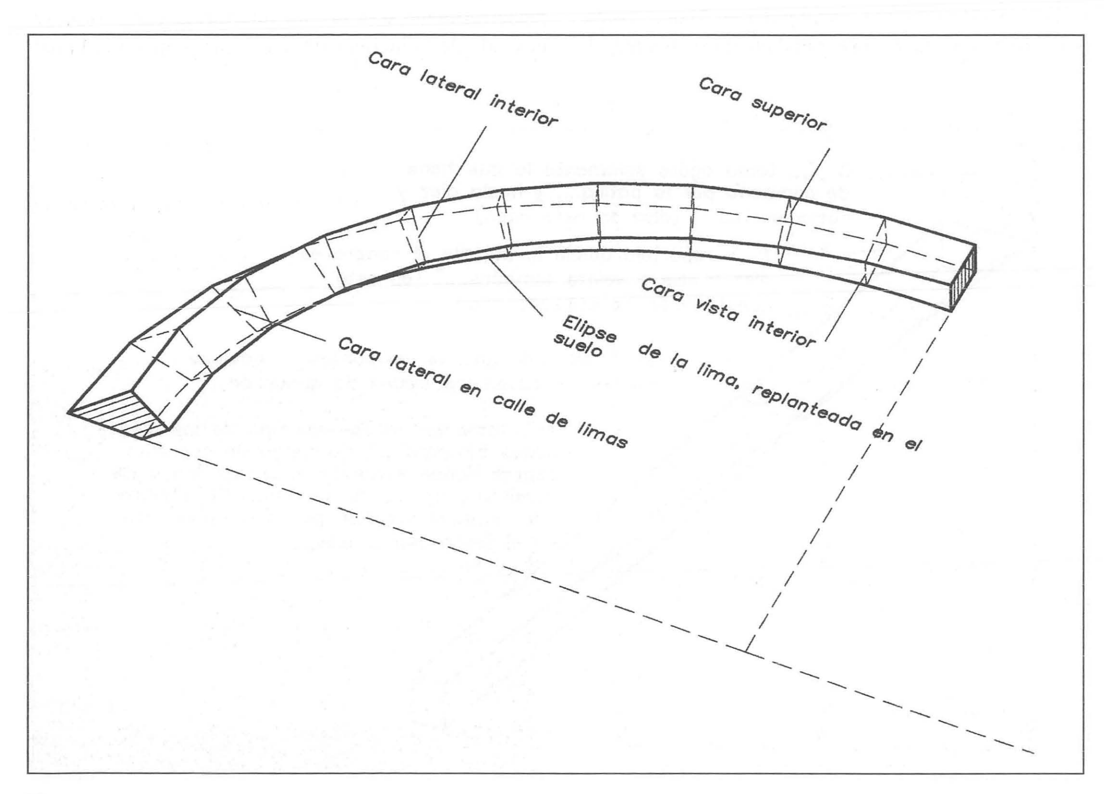


Figura 7

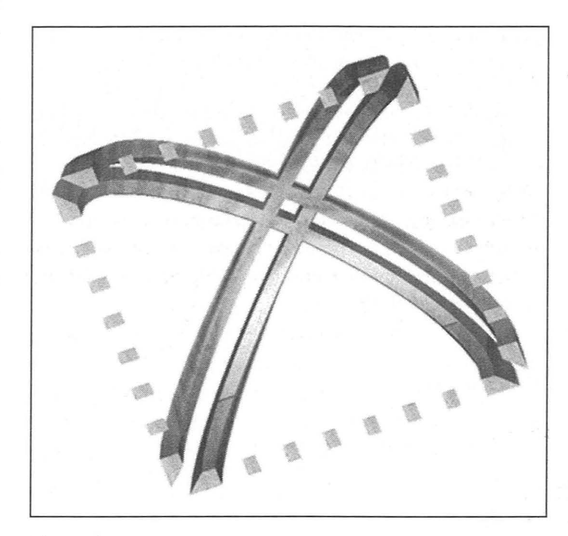


Figura 8

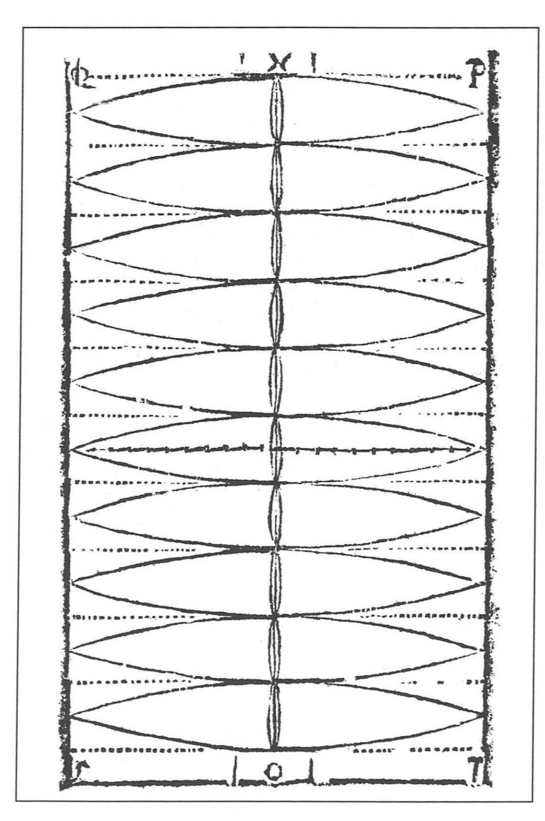


Figura 9

tos de media naranja por pechinas, y estas tales armaduras se les suele echar algo mas altas otras armaduras toscas, que reciban la carga del tejado.» (López de Arenas, 1633, h.36).

Del dibujo en sí es de destacar la perfección geométrica con la que está trazado, lo que se puede comprobar midiendo en la propia figura su ancho y la línea que une el vértice con el eje de las estrellas inferiores, su relación es 0.78, equivalente a /4, que manifiesta el desarrollo circular de la figura. Lo que Arenas llama pechinas son lo que podemos llamar más adecuadamente pequeñas capillas laterales, que se ajustan a la forma circular contenida en la muestra. El huso que aparece en la parte inferior de la figura corresponde a la mitad de esta pequeña capilla.

En las figuras 10 y 11 podemos ver la armadura que se construiría con esta muestra, para ello, y como comprobación de la exactitud del dibujo de Arenas, nos hemos limitado a incorporar sobre una bóveda las plantillas aportadas en el libro impreso.

GLOSARIO DE TÉRMINOS ESPECÍFICOS PARA ARMADURAS DE PARES CURVOS

Baibeles: camones centrales en cúpulas esféricas.

Bolsor: sector de una cúpula entre su comienzo y la linea del ecuador.

Camón: nombre que toman los pares en armaduras curvas.

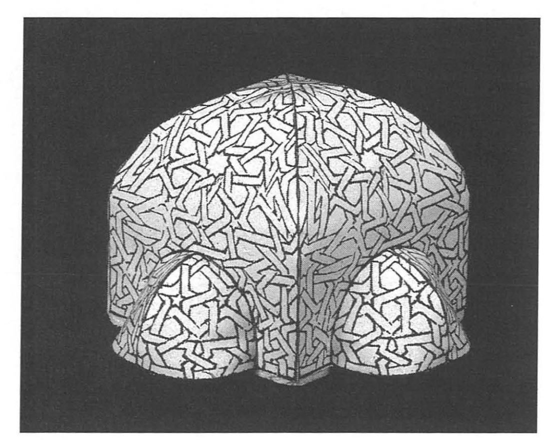


Figura 10

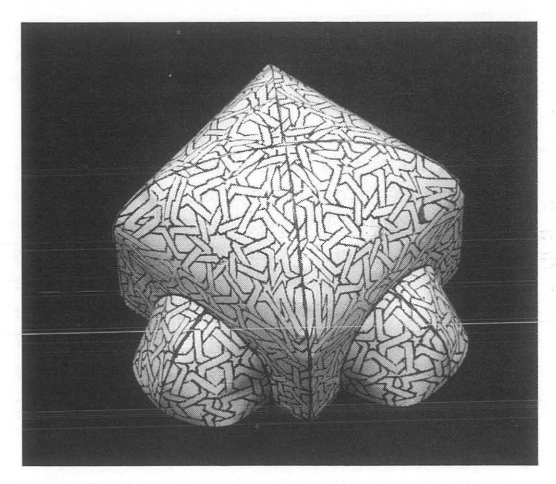


Figura 11

Casco:	sector de una esfera comprendido entre dos meridianos: huso, gajo.
Media naranja:	cúpula esférica.
Media caña:	Bóveda de rincón de claustro.
Medio diente:	unión en prolongación de maderos, en rayo de Júpiter.
Vuelta redonda:	círculo.

NOTAS

1. La construcción de armaduras con superficie curva sólo aparece en el texto impreso de 1633 y en el manuscrito de 1632, pero no en su primer manuscrito (1619). La descripción de cúpulas esféricas y bóvedas de rincón de claustro ocupa las hojas 32 a 37 del texto de 1633.
2. Se debe tener en cuenta que se está efectuando una aproximación al representar como plano cada huso. En realidad la línea media de cada huso debe tener la misma longitud que las líneas curvas del contorno. Esta circunstancia, cuando se introduce el lazo provoca serias complicaciones. En la investigación que estamos llevando a cabo actualmente sobre la cúpula del Salón de embajadores del Alcázar hemos comprobado que, para limitar esta distorsión, cada huso se divide además en varios sectores transversales (según los paralelos).
3. En el manuscrito de 1632 aparecen dibujos idénticos a los del libro impreso, pero por estar trazados aquellos directamente sobre el papel se pueden apreciar con mayor claridad estos y otros detalles.
4. Se produce el caso inverso, existen construcciones posibles que Arenas no consigue describir con exactitud —armaduras de cinco paños—, o que considera imposible construir —las armaduras que tienen como albanecar el cartabón cuadrado—

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, R.: *Breve compendio de la carpintería y tratado de lo blanco, con algunas cosas tocantes a la Iometría y puntas del compás.* Salamanca, 16??, manuscrito nº 557 de la biblioteca de la fundación Lázaro Galdeano de Madrid.

López de arenas, D.: *Primera y segunda parte de las reglas de carpintería, fecho por Diego López de Arenas en este año de MDCXVIII,.* Edición facsímil del primer manuscrito, Madrid, 1966, Instituto de Valencia de Don Juan.

López DE ARENAS, D.:*Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes,..., y otras cosas tocantes a la ieometria y puntas del compas.* Manuscrito de 1632 conservado en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando de Madrid.

López de Arenas, Diego.:*Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes,..., y otras cosas tocantes a la ieometria y puntas del compas.* Edición facsímil de la primera edición de Sevilla de 1633 de Luis Estupiñán. Valencia, 1982, Albatros.

Nuere Matauco, E.: *La carpintería de lo blanco. Lectura dibujada del primer manuscrito de López de Arenas.* Madrid, 1985, Ministerio de Cultura.

Nuere Matauco, E.: *La carpintería de lazo: lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel.* Málaga, 1990, Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental.

Segura de la Alcuña, A.de la (Fray Andrés de San Miguel): *Manuscrito sin título,* (h. 1640), conservado en la Universidad de Texas, facsímil en Nuere (1990).

Stevens, W.C., Turner, N.: *Manual del curvado de la madera.* Madrid, 1973, AITIM.

Las técnicas de ejecución de la armadura mudéjar de la antecapilla del Palacio Alto del Real Alcázar de Sevilla

Cecilia Cañas Palop

En el transcurso de estos últimos años y fundamentalmente desde el *II Simposio Internacional de Mudejarismo* celebrado en Teruel en 1982, el interés mostrado por la carpintería de armar española ha crecido notablemente. No obstante, después de haber realizado un análisis de las distintas investigaciones llevadas a cabo sobre este tema, se puede afirmar que, en la mayoría de los casos, la atención se ha centrado fundamentalmente en el análisis de formas, trazado y geometría de distintas armaduras de cubierta y alfarjes ejecutadas en la época en la que los maestros mudéjares construían en nuestra geografía, o bien, otras realizadas con posterioridad pero con idénticas trazas y pautas de generación. Han sido ciertamente pocos los investigadores que han analizado dichos elementos estructurales desde el punto de vista constructivo.

Las referencias que tenemos con respecto a *la forma de construir* de nuestros artesonados mudéjares, son básicamente las aportadas por Diego López de Arenas, Fray Andrés de San Miguel, y las de Rodrigo Álvarez, recientemente desenterrado de los archivos y estudiado por el doctor Angel Luis Candelas. Éstas son, sin duda, fuentes básicas donde poder encontrar los primeros y fundamentales referentes para el análisis.

En la actualidad, a partir de los estudios realizados por el doctor Enrique Nuere Matauco hemos podido empezar a descubrir todo el mundo que encierra la ejecución de dichos elementos, aunque, sin duda, aún queda mucho por investigar.

Cuando Diego López de Arenas, en 1619, escribió su *Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes,* se planteaba realizar un trabajo fundamentalmente gráfico que ayudase a los carpinteros de la época y conocedores de la profesión a ejecutar de forma correcta y rigurosa las armaduras que estos tenían encomendadas. El trabajo era simple, se trataba de dar una serie de recetas que permitieran repetir una y otra vez toda clase de armaduras, desde las más sencillas en su composición hasta las aparentemente más complicadas y extrañas. Todas ellas se rigen por los mismos principios básicos de ejecución. Lo que movió a este maestro carpintero no estaba muy lejos de lo que actualmente nos mueve a nosotros: desmenuzar el procedimiento de ejecución de las armaduras de forma que mediante una serie de leyes básicas, sea posible su repetición conforme a unos cánones establecidos.

Esta comunicación tiene por objeto dar a conocer en la medida de lo posible una pequeña parte de los trabajos de investigación que, sobre este tema, actualmente se están desarrollando en el marco de los Reales Alcázares de Sevilla, conjunto elegido no solo por tratarse de uno de los edificios históricos más emblemáticos de nuestra ciudad y por poseer una rica variedad de armaduras que únicamente han sido estudiadas con detalle desde el punto de vista ornamental y geométrico. Uno de los aspectos que actualmente vienen siendo fundamentales en el estudio es la posible singularidad constructiva de unos elementos fuertemente marcados por su entorno y de forma particular por los

continuos cambios que dicho entorno ha sufrido a lo largo de su historia motivado por las necesidades de los distintos moradores del Palacio.

Actualmente, dentro del recinto del edificio se están llevando a cabo numerosas actuaciones con vistas a la consolidación de distintas armaduras que vienen sufriendo los efectos del paso del tiempo en su estructura.

A continuación vamos a realizar un breve recorrido por las técnicas utilizadas en la ejecución de los artesonados mudéjares, analizando desde el punto de vista constructivo una de las armaduras del Palacio Alto de Pedro I.

ARMADURAS MUDÉJARES DE LOS REALES ALCÁZARES

En general existen dos grandes grupos de armaduras en el Alcázar: alfarjes y armaduras que soportan cubiertas. Los alfarjes se constituyen básicamente por *alfarjías* paralelas, denominando así a las viguetas de madera que componen la base estructural de dicho elemento. Dichas alfarjías descansan sobre una solera realizada en la coronación del muro. Sobre el elemento resistente se coloca, en su versión más básica una tablazón que servirá de apoyo al pavimento del piso superior.

Siguiendo el esquema utilizado por Enrique Nuere en *La carpintería de armar española,* podemos clasificar las armaduras de cubierta en armaduras de pares, forjados inclinados y armaduras con correas, dejando a un lado las llamadas armaduras mixtas y las ocultas como elementos singulares dentro de la clasificación.

Dentro del recinto de los Reales Alcázares, y más concretamente del Palacio de Pedro I, tenemos una extensa muestra de armaduras, ya que la mayoría de las salas del Palacio utilizan esta tipología para realizar sus techos. En la planta baja nos encontramos con un amplio despliegue de alfarjes y en la superior diversidad de armaduras de pares. No incluimos el término de cubierta, porque realmente en la mayoría de los casos éstas no soportan la cubierta final del edificio, su misión es exclusivamente decorativa y únicamente soportan su propio peso.

ARMADURA DE CUBIERTA DE LA ANTECAPILLA DEL PALACIO ALTO. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

La mayoría de las armaduras de cubiertas del Palacio poseen similares características formales y tipológicas, modificándose éstas en función de las características geométricas de la sala que tienen que cubrir. Este factor es, en principio, el decisivo a la hora de organizar una armadura de estas características.

La elección de la techumbre perteneciente a la antecapilla, situada en el Palacio Alto, para realizar su análisis constructivo, se basa en que es la que permite estudiar con más detalle la casi totalidad de sus elementos constituyentes. Un factor decisivo a la hora de realizar este estudio es la accesibilidad o no a la parte superior de la armadura a través del *camaranchón.* Desde este espacio, situado entre la armadura y la cubierta final se pueden apreciar con detalle los elementos que conforman su estructura y de que forma han sido ejecutados.

Generalidades

Como rasgos generales, la armadura de la antecapilla es ochavada y posee un almizate decorado con lazo de ocho rodeando a un octógono central en donde se aloja un cubo de mocárabes. Los faldones están decorados mediante rectángulos alargados entre dos calles de estrellas de ocho y lacillos.

Para comenzar a construir una armadura es tan importante como evidente conocer las medidas geométricas de la estancia a cubrir. A partir de estas medidas, los maestros carpinteros desarrollaban su trabajo sobre la base de una serie de recetas que permitían ejecutar el elemento completo con aparente facilidad. Una de las cuestiones que debemos analizar y que será objeto de nuestra investigación es, hasta qué punto dichas recetas se llevaban a cabo, y cuáles son los errores generados al no tenerlas en cuenta. Comenzaremos analizando cuáles han sido los cartabones utilizados por los carpinteros a la hora de ejecutar la techumbre.

Para definir totalmente la estructura, necesitamos utilizar tres cartabones: *el cartabón de armadura*, que indica el ángulo que forman las alfardas con la horizontal, el *albanecar,* definiendo el que forma el estribo con la lima, y el *coz de limas* que mide la inclinación de la lima con la horizontal en el plano vertical que la contiene.

Conocemos las dimensiones de la estancia que cubre nuestra armadura: 4.78×4.80 (hemos tomado como medida 4.78×4.78 asimilando los dos centímetros restantes a posibles modificaciones en los muros portantes). Conociendo este dato, el ancho de

la alfarda, el trazado de estrellas utilizado y sabiendo que se cumple la *regla de calle y cuerda* que más adelante enunciaremos, podemos ejecutar la totalidad de la armadura siempre que conozcamos alguno de los cartabones utilizados en su ejecución.

A priori, no conocemos ninguno de ellos; sin embargo, hemos considerado como hipótesis de partida la información aportada por Mª Isabel González Ramírez en su tesis doctoral, donde, analizando la geometría y el trazado de lazo de la armadura, afirma que el albanecar utilizado es el de doce (15).

Si realizamos la montea de la armadura con todos los datos obtenidos previamente, deducimos que el cartabón de armadura utilizado es el de cuatro y medio (50) (figuras 1 y 2).[1]

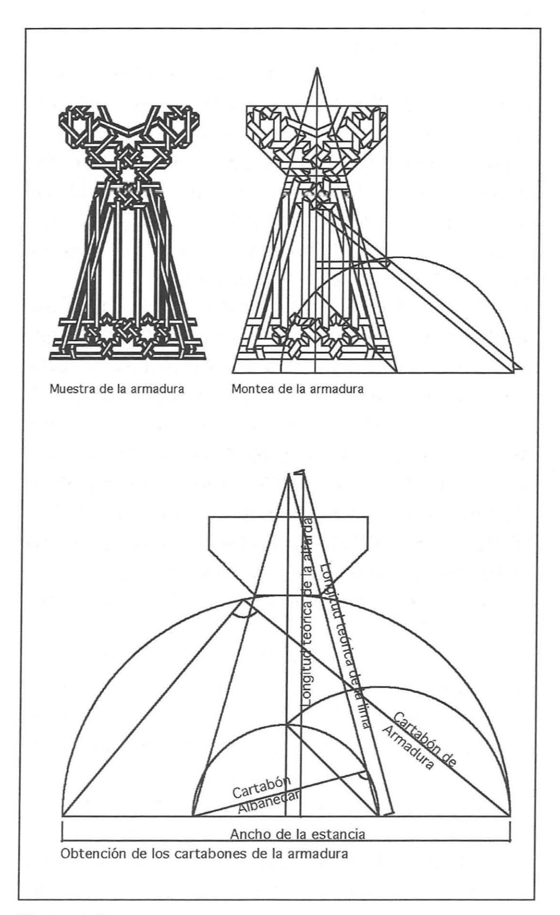


Figura 1-2

Elementos sustentantes

Con carácter general este tipo de armaduras requiere una serie de elementos que garanticen su asiento. El esquema es el siguiente.

En todos los tratados se trata el tema de la *solera* como elemento de madera de transición entre la fábrica y la cubierta. Este elemento garantiza el correcto asiento de la estructura. También incluyen al *nudillo* como operación previa al estribado o atirantado.

La presencia o no de *canes* o *tirantes* depende fundamentalmente de la longitud que la cubierta tiene que salvar y de la solución estructural prevista.

Analicemos a continuación el estribado de la armadura de la antecapilla, refiriendo sus elementos, características geométricas, uniones, defectos detectados y deterioros sufridos.

Elementos

El estribado de la cubierta estudiada está formado únicamente por *estribos* y *cuadrales*. Al tratarse de una armadura ochavada los cuadrales asumen también la función de estribado, cargando los faldones de cada ochava sobre ellos.

Características geométricas

Las secciones de ambos elementos deben ser iguales ya que trabajan de idéntica manera.

Según los tratados deben tener un grueso aproximado a la doceava parte del ancho de la sala, por lo tanto, según estas recomendaciones el grueso sería de 0.4 m., medida muy superior a la real. Los estribos y cuadrales miden: 13x10 cm.

Uniones

- *Unión del estribo al muro:* Se observa la no presencia de elementos como nudillos o solera, ni siquiera de alguna capa de mortero entre los estribos y el muro que garantice de alguna forma la planeidad del elemento que los recibe. El estribado de nuestra armadura presenta una serie de particularidades, que se repiten en la mayor parte del resto de elementos del palacio y que tienen su origen en la

propia configuración de las cubiertas del palacio que no descansan íntegramente sobre muros de carga.

En nuestro caso observamos como dos de los estribos se encuentran empotrados en los muros, un tercero se encuentra apoyado, y el último carece de estructura lineal de descarga. Apreciamos la aparición de un segundo estribo de grandes dimensiones aproximadamente a un 80 cm. del superior, que descarga sobre este mediante una serie de elementos puntuales situados en los encuentros entre estribo y cuadral y en el centro del vano. En ningún caso los estribos se sitúan alineados con la cara interior del muro.

- *Unión de los estribos entre sí:* La correcta forma de realizarla es a media madera y realizando una pequeña muesca que favorezca que ambas piezas no se desplacen por efecto de las tracciones que el resto de la estructura ejerce en ellos. En nuestro caso, y debido al deterioro de la cubierta, no podemos apreciar si esta muesca se realizó en su día. La pérdida de material en los encuentros es notable.

- *Unión de los cuadrales a los estribos:* El cuadral se conecta a media madera con el estribo para conseguir el mismo nivel en su cara superior. Se colocan primero los cuadrales y posteriormente los estribos.

Defectos detectados

En cuanto a la ejecución del estribado se han detectado una serie de defectos de distinta consideración. Hay que destacar que el sistema de apoyo de uno de ellos es radicalmente distinto al del resto debido a la inexistencia de muro de carga bajo el elemento. Como ya se ha señalado la descarga no se produce directamente sobre un elemento lineal, sino que se encuentra empotrado en uno de los extremos en el muro de carga y apoyado en el muro paralelo. Para disminuir la flecha se colocan, abrazando al estribo en la unión con los cuadrales, cuatro tablones de madera verticales que transmiten la carga al estribo inferior situado a la altura de las pechinas.

El comportamiento estructural de este estribo es radicalmente distinto al del resto, y por lo tanto las posibles deformaciones sufridas también. Los movimientos de la armadura no se realizarán de forma simétrica como sería deseable.

Deterioros sufridos

Como ya se ha señalado, el paso del tiempo se ha hecho presente en la cubierta de la antecapilla en forma gran pérdida de sección en sus elementos. Esta pérdida de sección ha sido provocada por la erosión y por los insectos, que han atacado la totalidad de la estructura y especialmente las zonas de unión entre los distintos elementos. Como consecuencia nos encontramos con una serie de enlaces que en la actualidad no funcionan como tal.

Los paños inclinados

Con carácter genérico los componentes que configuran la superficie de un paño son los *pares*, así como *manguetas* y *péndolas* en armaduras con *limas*, necesarias desde el momento en que aparecen más de dos paños en la cubierta. Normalmente dichos pares confluyen en la *hilera*, elemento de apoyo de los mismos en el extremo superior de la armadura.

Antes de entrar en el desarrollo de sus elementos constituyentes debemos hacer mención a la singularidad que presentan. Se trata de una armadura de planta ochavada con *lima mohamar o doblada* denominación que se da a la resolución del encuentro de dos faldones mediante dos piezas (limas) pertenecientes cada una de ellas a uno de los planos de los faldones. La inclusión en la estructura de este tipo de elementos, permitió realizar los faldones en el suelo con independencia entre ellos y así facilitar las labores de apeinazado de las armaduras.

Elementos

Los paños, por lo tanto, están formados por los *pares* que apoyan en el estribo, las *limas*, que marcan sus límites laterales y las *manguetas,* o pares situados en el cuarto de limas. Incluimos también como elementos constituyentes de los faldones a los *peinazos*, pertenecientes a la estructura. Pensados como elementos que situados perpendicularmente a los pares y enla-

zados a ellos contribuyen a dar estabilidad y rigidez al conjunto, sirven también como base para el trazado decorativo del faldón.

Características geométricas

Se han podido tomar medidas referentes a alfardas, manguetas y limas, en concreto alto y grueso, sin embargo nudillos y peinazos permanecen ocultos bajo el entablado que cubre la armadura. No obstante, siguiendo las recetas de los maestros podemos aproximar alguno de estos datos, suponiendo, en cualquier caso, que estas han sido utilizadas por los carpinteros en la ejecución de la armadura.

Como veremos más adelante este tipo de suposiciones pueden ser erróneas, pero nos sirven de datos para aproximarnos al estudio de los elementos en su conjunto.

La escuadría medida de alfardas y manguetas es de 8 cm. de grueso por 10 de alto. Es en este punto donde resultan necesarias una serie de aclaraciones con respecto a dichas medidas.

Una de las reglas fundamentales en la ejecución de este tipo de estructuras en las que posteriormente se realizarán trazados de lazos y estrellas es la denominada por López de Arenas, la ley de *calle y cuerda*. Esta consiste en la creación de una trama ortogonal de módulo el grueso de la alfarda, llamando cuerda al espacio ocupado por el par (o peinazo en el sentido ortogonal) y calle al espacio entre dos alfardas consecutivas. El cumplimiento de la regla está basado en que este espacio último, la calle, debe ser igual a dos cuerdas. De esta forma el carpintero podrá realizar en la trama el conjunto de cortes precisos para que las maderas se vayan superponiendo y produzcan el efecto de una estrella entrelazada.

Al tomar las medidas en los paños se incluyó también el cumplimiento de esta regla, midiendo el espacio entre los pares, 17 cm. de forma reiterada. Este aspecto induce a pensar que, evidentemente, la regla descrita por López de Arenas se había tenido en cuenta, y que el desfase de 1 cm. viene determinado por la pérdida de sección que se aprecia en la mayoría de los elementos estructurales de la armadura. Por lo tanto hemos considerado que el ancho de la alfarda es de 8.25 cm. No se nos escapa, que difícilmente los carpinteros pudieran trabajar con tanta precisión a la hora de elegir los gruesos de los pares, sin embargo estas medidas se adaptan perfectamente al trazado de la armadura de forma conjunta y a las dimensiones de la sala que debe cubrir. López de Arenas en su libro impreso en 1633 indica las medidas adecuadas de las alfardas según el ancho de la estancia, y para unas dimensiones aproximadas a las de la antecapilla (entre 4.45 y 5.57) maneja gruesos de 8.4 cm., lo que nos indica que no caminamos muy alejados de sus recomendaciones.

Las dimensiones de los peinazos y manguetas deben ser las mismas que las de los pares, ya que de lo contrario el trazado de estrellas no se podría materializar de forma correcta.

En cuanto a las limas, hay recomendaciones expresas de que el grueso debe ser mayor que el de los pares y manguetas, indicándose además, que en el caso de poseer la armadura limas mohamares, éstas, evidentemente, deberán tener el mismo alto que los pares para poder quedar perfectamente integradas en el paño. Las limas miden 8×12. (En nuestro caso, y pensando que han sido utilizadas las mismas escuadrías de madera, 8,25 cm.) La única razón que encontramos para la utilización de dichas escuadrías, es la de no haber tenido en cuenta el que se trataban de limas mohamares y haber seguido las recomendaciones generales para limas. Se mantiene el grueso general de la estructura y se amplía el alto del elemento, aunque no en la misma proporción indicada por Arenas.

En el caso de una armadura de lima bordón, donde la lima no pertenece estrictamente al paño, el grueso del elemento no condiciona el posterior trazado de lacería del faldón. Sin embargo al tratarse de un elemento constituyente del paño, la arbitrariedad a la hora de la elección del grueso del elemento conduce a dificultar el correcto trazado de lazo.

Uniones

- *Unión de pares y limas a estribos:* Se realiza mediante la solución aportada por todos los maestros, a patilla y barbilla, cumpliéndose las proporciones establecidas en los tratados: la patilla mide 1/3 de la sección del par, realizando el corte perpendicular al plano horizontal. No se ha detectado la presencia de clavos reforzando el enlace.

- *Unión de manguetas a limas:* Con carácter general se efectúa mediante el corte con el ángulo preciso

y el apoyo de clavos. En la armadura de la antecapilla este tipo de unión se encuentra oculta.

- *Unión de lima al nabo:* Carece de este tipo de unión. Tanto pares como limas se encuentran cortados superiormente de forma arbitraria no confluyendo en un único punto. Este tipo de solución hace, como veremos más adelante, que los componentes estructurales del almizate cobren especial importancia.

- *Uniones de los peinazo:* Estas se realizan conforme mediante caja y espiga, realizando la caja en la tabla de la alfarda. Este tipo de solución debilita la sección estructural de los pares, sin embargo, teniendo en cuenta que la armadura únicamente está soportando su propio peso, este hecho no cobra demasiada importancia.

Defectos detectados

Es en los faldones donde se han encontrado la mayor cantidad de defectos en cuanto a la ejecución.

En primer lugar, debemos hacer mención al grueso de las limas, que como ya se apuntó anteriormente, es el mismo que el de las alfardas. Este hecho produce que, para que en el trazado del lazo las piezas constituyentes se unan adecuadamente, aparezcan ángulos distintos a los estrictamente necesarios en su ejecución (en nuestro caso los cartabones cuadrado, de ocho y el blanquillo).

Pero quizás el defecto más importante se detecta en las uniones de los distintos faldones, donde raramente quedan enlazadas las *arrocabas*. Actualmente desconocemos las posibles operaciones de restauración o consolidación que haya sufrido la armadura, pero en la casi totalidad de los encuentros observamos aportes de material, pequeños trozos de madera cortados para cubrir la separación entre los faldones fundamentalmente en los encuentros inferiores. Dicha separación es suficientemente grande como para pensar que ha sido fruto de posibles movimientos de la estructura.

Deterioros sufridos

El principal deterioro se ha producido nuevamente en las uniones, en este caso, de los pares y limas a los estribos. La acción atacante de los insectos xilófagos ha hecho que se produzca en estos puntos una importante merma en la sección de la alfarda. Además se aprecia también que algunos de los pares pertenecientes a un mismo paño, son incapaces de transmitir la componente horizontal del esfuerzo al estribo, ya que, posibles deformaciones o desplazamientos de los mismos, han hecho que la patilla de la alfarda quede separada del algunos centímetros.

El almizate

Finalmente terminaremos el análisis deteniéndonos en el almizate. Compuesto fundamentalmente por los *nudillos*, delimita el límite horizontal superior de la estructura. Es en este plano donde, por lo general, se realiza la mayor parte de la labor de lacería, por lo tanto, será también aquí donde nos detengamos a analizar con más detalle el trazado y corte de sus elementos constituyentes.

Elementos

Como ya hemos dicho, está formado por los nudillos. Las dimensiones reducidas del almizate junto con la apertura en el centro del mismo de un cubo de mocárabes ha hecho que la configuración estructural del elemento sea algo distinta a la de la mayoría de las armaduras. En nuestro caso los nudillos no son elementos que definan totalmente la estructura del almizate, y tampoco los más determinantes a la hora de soportar los esfuerzos, ya que la cúpula de mocárabes situada en el octógono central impide el desarrollo de los mismos. Aparecen por lo tanto como figuras fundamentales los peinazos, que en este caso son los encargados de soportar las compresiones producidas, y transmitirlas a los nudillos. Peinazos y nudillos, de forma conjunta, transmiten los esfuerzos a las alfardas.

Características geométricas

La estructura del almizate es difícilmente accesible, por lo que no se han podido medir ninguno de sus elementos. Tendremos en cuenta lo escrito en los tratados y supondremos que el nudillo tiene un alto de

7,7 cm., *echando cabeza de armadura* en el punto de enlace con la alfarda. El grueso es el mismo que el de la alfarda, 8.25 cm. Se cumple la regla de calle y cuerda, por lo tanto, y de la misma forma que vimos en los paños inclinados, el resto de los componentes del almizate tendrán también el mismo grueso.

La longitud del nudillo no es exactamente el tercio de la de la estancia, ya que el almizate se encuentra situado algo por debajo del mismo, como se muestra con exactitud en la montea realizada. La previa elección de la muestra de lazo a reproducir y el grueso de los maderos es determinante a la hora de situar este elemento.

Configuración estructural

Debido a la imposibilidad, ya indicada, de acceder al almizate desde el interior del camaranchón, no poseemos a ciencia cierta datos que nos ofrezcan con exactitud la situación exacta de los elementos estructurales. No obstante, existen otros procedimientos que pueden ayudarnos a identificar la situación de cada uno de ellos.

Sabemos que para soportar los esfuerzos generados en la corona central necesitamos unos elementos llamados *maestras* que, necesariamente, tienen que dirigir las cargas hacia los nudillos. Dichas maestras son las que conforman el octógono central del almizate. El problema surge a la hora de definir la configuración de cada uno de ellos, ya que no podemos pensar que se han seguido los procedimientos generales de los tratados. Ayudándonos de fotografías de detalle que muestran el almizate desde la estancia que cubre, podemos intuir cuales son los elementos estructurales diferenciándolos de las piezas de relleno siguiendo las posibles discontinuidades existentes en el trazado del lazo. Todos los elementos que forman el sistema estructural estarán formados por una única pieza, a la que se realizarán los convenientes rebajes para simular el entrelazado de los lazos. Por lo tanto estas piezas serán uniformes tanto en color como en la carencia de desplazamientos. En aquellos puntos donde se observe algún tipo de discontinuidad sabremos que se está produciendo un enlace de piezas y podremos distinguir entre las estructurales y las de relleno (taujeles clavados a la estructura).

Siguiendo estas pautas hemos realizado una hipótesis sobre la posible configuración estructural del almizate.

Los desplazamientos y falta de piezas si nos han ayudado a determinar nuestra hipótesis sobre la configuración estructural del almizate (figura 3).

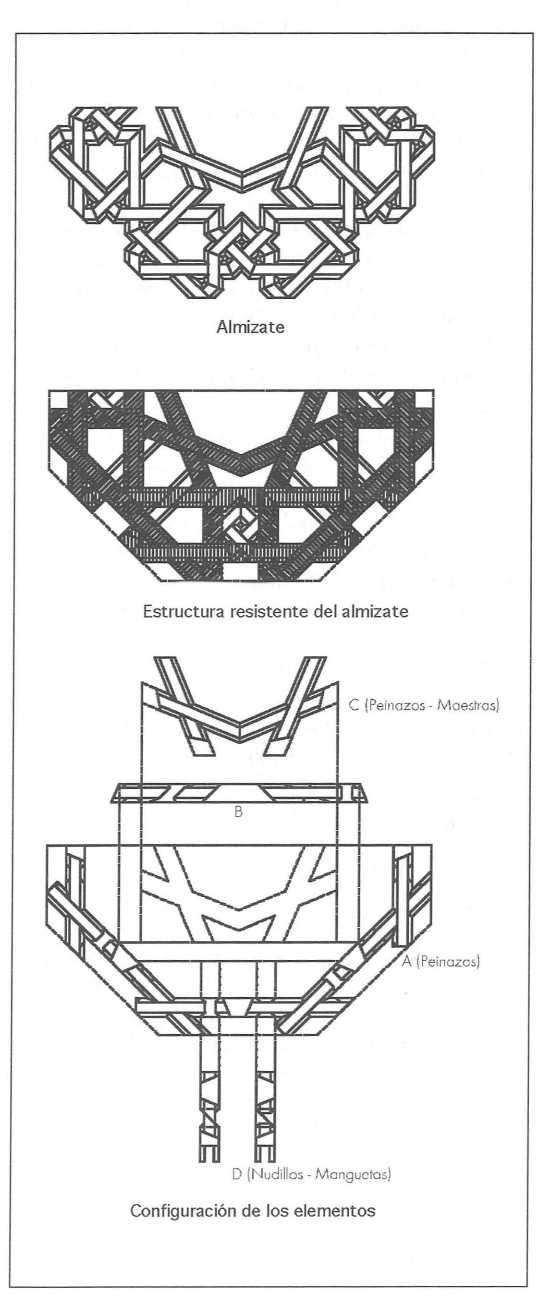


Figura 3

Uniones

- *Unión entre par y nudillo:* A garganta y quijada, conforme a lo dispuesto los tratados. *Echando cabeza de armadura* en la alfarda realizamos el corte correspondiente a la garganta en la alfarda. Los cornezuelos de los nudillos son aproximadamente el cuarto del grueso del elemento.

- *Uniones entre el resto de los componentes del almizate:* Los enlaces que convencionalmente se han venido utilizando en las uniones entre nudillos y peinazos transversales son mediante caja y espiga, mientras que si lo que tenemos que enlazar son dos elementos estructurales de forma transversal se utiliza el llamado enlace *a romo y agudo* con espiga. Este tipo de enlace por su configuración es más resistente que el anterior. Nuevamente debemos señalar la imposibilidad de confirmación de estos datos. En la figura 4 señalamos cómo ha sido realizado el trazado de cada uno de los componentes estructurales del almizate y cuáles han sido los cortes realizados y cartabones utilizados en cada caso (figura 4).

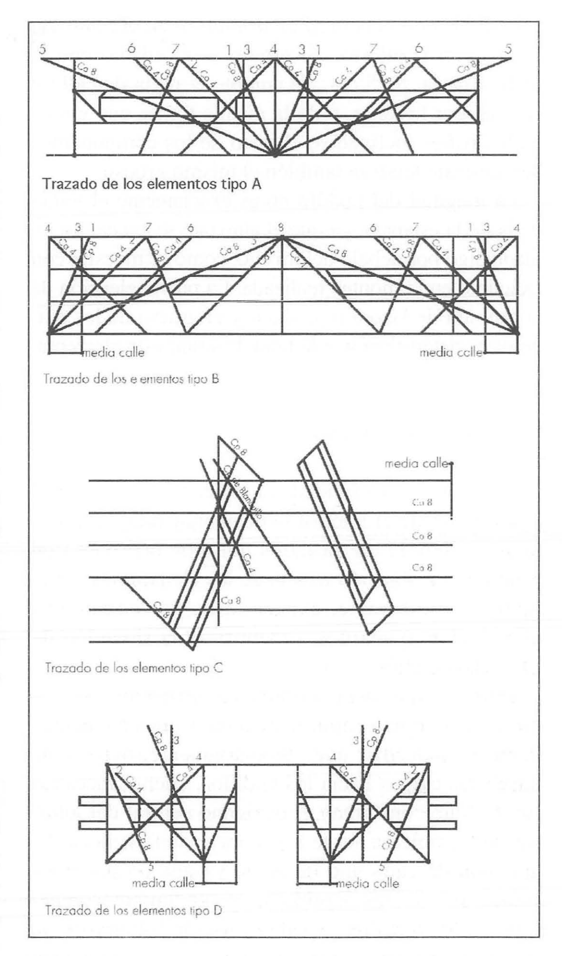


Figura 4

Defectos y deterioros detectados

Nuevamente debemos indicar el deterioro que sufren los distintos elementos como consecuencia de la erosión y los insectos. Los enlaces entre nudillos o manguetas y pares se encuentran muy afectados por la pérdida de sección.

Notas

1. Se ha dado por válido el cartabón *albanecar* de doce porque, una vez realizados la montea y trazado de lazo de la techumbre, utilizando dicho cartabón y las medidas tomadas in situ de alfardas y ancho de la estancia, todos los datos son coincidentes. No obstante, es necesario advertir que ninguno de los cartabones de la armadura ha sido comprobado de forma empírica.

Bibliografía

González Ramírez, M.I.: *El trazado geométrico en la ornamentación del Alcázar de Sevilla*, Tesis doctoral, Sevilla, 1988.

López de Arenas, Diego: *Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes,* Imp. de Luis Estupiñan, Sevilla, 1633, Sevilla, 1727, Madrid, 1867, 1912, 1996, ed. fac. (1633) por Albatros ed., Prólogo de Enrique Nuere, 1982.

Nuere Matauco, Enrique: *Carpintería de lo blanco: lectura dibujada del primer manuscrito de Diego López de Arenas, Ministerio de Cultura,* Madrid, 1985.

Nuere Matauco, Enrique: *La carpintería de armar española*, Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Instituto de Conservación y Restauración de bienes Culturales, Madrid, 1989.

La fortificación de la Iglesia de San Félix de Gerona en el siglo XIV

Miquel Ángel Chamorro Trenado

Antes de analizar la fortificación de la iglesia de San Félix durante el siglo XIV tenemos que hacer un esbozo sobre cuál es la situación que vive la ciudad de Girona a finales del siglo XIII y durante el siglo XIV. Después del sitio de 1285, Girona atraviesa un período de «paz relativa», que comprendería del año 1285 al 1360 y que coincide con la expansión catalana en la Península y en el Mediterráneo donde la ciudad participa de forma activa (financiera, demográfica, militar y económicamente). El asedio de 1285 provocó importantes daños materiales y demográficos, dejando, además una fuerte y longeva marca en la memoria colectiva.[1] El hecho de que el rey redimiese de impuestos a la ciudad durante muchos años explicaría las graves consecuencias del asedio. Estos privilegios fiscales de la ciudad ayudaron a su crecimiento demográfico.

Este período de «paz relativa» fue aprovechado por la ciudad para reconstruir los edificios destruidos por el asedio de 1285, alcanzando el período de reconstrucción aproximadamente hasta el 1320. Este período de paz explicaría el hecho de que los grandes edificios religiosos se construyesen o reconstruyesen durante este siglo XIV: la Catedral gótica —de nueva planta— y San Félix —aprovechando los restos de la iglesia románica. A partir del 1320, la ciudad experimenta una expansión urbanística lenta que afecta a los burgos de San Félix (figura 1) y San Pedro de Galligants pero, sobre todo, al Mercadal. La expansión de la ciudad es más importante en la ribera izquierda del río Onyar ya que es la zona donde se

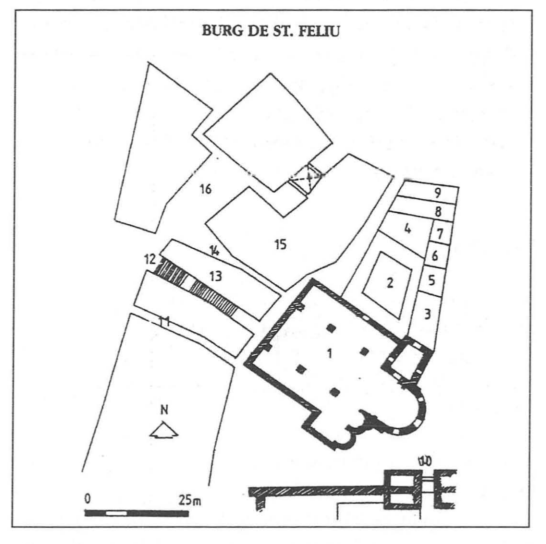


Figura 1.
1. Iglesia de San Félix, 2. Claustro gótico de San Félix en 1357, 3. Refectorio en 1300, 4. Cementerio, 5. Casa de Arnau Rafart vendida en 1300 a Guillem Roca, 6. Casa de Arnau Camps, 7. Casa de Arnau Camps, 8. Patio, 9. Casa de Bernat de Sant Antoni, 10. Castillo de Sobrepuertas, 11. Calle conservada hasta 1535, 12. Escaleras de San Félix en 1335, 13. Manzana urbana derruida para construir el campanario de San Félix, 14. Calle desaparecida, 15. Manzana de casas modificadas parcialmente por el campanario de San Félix, 16. Plaza o plana de San Félix. Planimetría extraída de Canal, J.; Canal, E.; Nolla, J.M.; Sagrera, J.: *La ciutat de Girona a la 1ª meitat del segle XIV*. Ajuntament de Girona, Girona, 1998, p. 37.

dispone de más terreno para construir al ser una zona de huertas. Como vemos, el crecimiento urbanístico de la ciudad es paralelo a la situación favorable que esta vive. A partir de 1360, este crecimiento queda bloqueado por las necesidades defensivas de la ciudad.

Pedro el Ceremonioso tiene que adoptar medidas para la defensa de la ciudad con la llegada de les Grandes Compañías Blancas el año 1365[2] que él mismo contrato, aprovechando una tregua en la Guerra de los Cien Años, para luchar contra Pedro el Cruel que estaba en guerra con Enrique de Trastámara. En la fortificación de la ciudad también participará la iglesia después de realizar una serie de pactos. Desde el año 1362 Pedro el Ceremonioso concentra todos sus esfuerzos en construir una muralla en la ciudad de Girona que proteja todos los burgos que en el año 1285 se encontraban fuera de las murallas (San Pedro de Galligants, San Félix, El Mercadal, San Maríin de la Cuesta).[3] Estas nuevas defensas sirvieron para frenar la entrada de los *Armanyacs* en el año 1389-90.

Son pocas las referencias documentales que se tienen del templo de San Félix antes y durante el siglo XIII. Lo que sí se puede asegurar es que la iglesia quedó muy deteriorada durante el asedio francés de 1285, quedando ocupada por los franceses que la utilizaron como caserna de caballería después de cometer gran cantidad de sacrilegios.[4]

La historia de este edificio está muy relacionada con su situación dentro de la trama urbana de la Girona medieval.[5] Se trata de un templo situado extramuros de la ciudad muy cerca del portal de Sobrepuertas. Por lo tanto, se encuentra situado muy cerca de la entrada norte de la ciudad, por lo que se verá muy afectada en el transcurso de las confrontaciones bélicas que tendrán lugar en el siglo XIII y XIV. Su situación estratégica marcara la tipología arquitectónica del templo.

La iglesia primigenia, de la que no tenemos datos, estaría construida sobre un antiguo cementerio cristiano y recibiría en el siglo VI la donación de una corona votiva por parte del rey Recaredo. Que este edificio primitivo fuese un *martyrium* no lo podremos afirmar hasta que no se realicen excavaciones dentro del templo o se encuentren documentos —prácticamente imposible— que hablen de éste. De todas formas, no sería extraño la existencia de un *martyrium* en este emplazamiento ya que es el lugar donde martirizaron a San Félix y San Narciso junto a unos trescientos mártires más, durante las persecuciones de Diocleciano. André Grabar nos dice que la mayoría de los *martyria* están edificados sobre antiguos cementerios suburbanos más allá de las puertas de la ciudad.[6] Continúa con el ejemplo de diferentes villas de la Renánia donde la tumba de un mártir dentro de un cementerio de época romana ha dado lugar posteriormente a iglesias románicas y góticas.[7] La forma de este edificio martirial también es una incógnita, igual que su situación. Respecto a esta última cuestión, podríamos aventurar que estaría situado en la actual sacristía (figura 2) ya que es la parte más antigua del edificio actual tocando al ábside y se apunta la existencia en este lugar de una pequeña capilla, sin poderlo constatar documentalmente.

El templo, tal y como lo podemos ver en la actualidad (figuras 3 y 4), es el resultado de las reformas que tuvieron lugar durante el siglo XIV.[8] Estaría construido sobre los restos de un templo románico que cronológicamente sería contemporáneo al de San Pedro de Galligants. Este hecho lo pone de manifiesto E. Lambert analizando las similitudes en planta de ambos templos,[9] si bien, sin embargo, esta semejanza podría venir dada por una forma de construir estandarizada. Por tanto, nos encontraríamos con un templo de cruz latina con un ábside principal y pequeños ábsides siguiendo el crucero. Se trataría de un templo más corto que el actual y con un campanario románico situado al norte. También al norte se localizaría el claustro románico derruido el siglo XIV para construir el claustro gótico.

Las modificaciones que se producirán en el siglo XIV vendrán dadas, en primer lugar por la necesidad

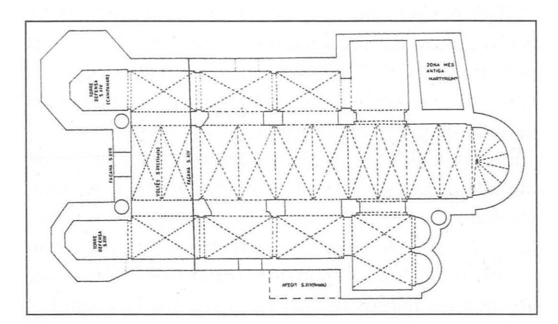


Figura 2. Planta de la iglesia en el siglo XIV con las ampliaciones sufridas hasta principios del siglo XVII y del posible emplazamiento del martyrium.

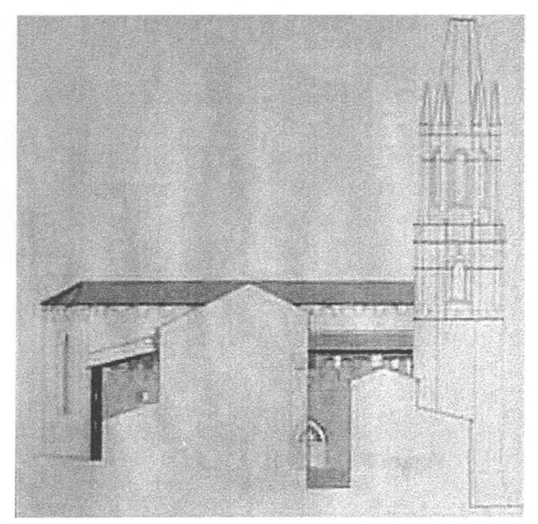


Figura 3.
Fachada norte (Servicio de Restauración de Monumentos de la Generalitat de Catalunya i la Diputación de Girona).

de reconstrucción del templo y, en segundo lugar, por las sucesivas fortificaciones realizadas para protegerlo de las frecuentes hordas de este siglo. Estas modificaciones seguirán las directrices estilísticas del

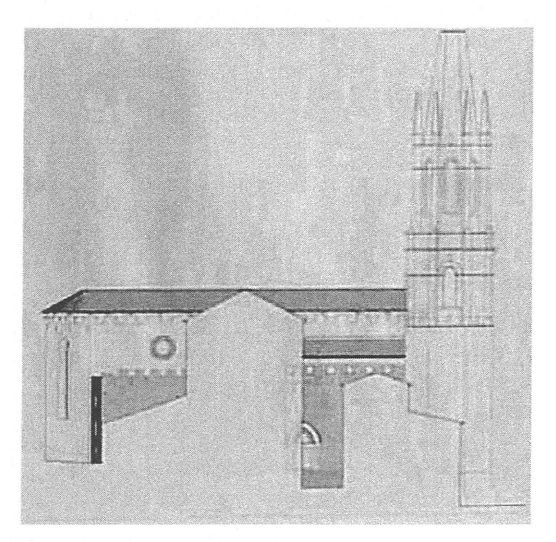


Figura 4
Fachada norte tras la reataturación (Servicio de Restauración de Monumentos de la Generalitat de Catalunya i la Diputación de Girona).

momento, construyéndose una iglesia de tipología gótica. Por lo tanto, nos encontramos con un edificio mucho más alto que el viejo templo románico. Para conseguir ganar altura, se construirá un triforio alrededor de todo el templo, manteniendo la tipología románica en la parte baja de la colegiata. Esto se pone de manifiesto, tal como dice E. Lambert, si observamos las ménsulas sobre las que se apoyan los nervios de las bóvedas ojivales.[10] Esta solución crea una sensación de inestabilidad y irregularidad en la estructura del edificio.

La actividad constructiva durante el siglo XIV fue muy intensa, destinándose gran cantidad de dinero a la obra. Entre 1315 y 1326, se realizaron las obras del ábside, de las bóvedas y del sepulcro de San Narciso. Se cree que muchos de los ingresos se destinaron a la construcción del templo ya que el sepulcro de San Narciso no se realizó hasta el año 1326. La importancia de las obras de fortificación de la iglesia hace que a continuación analicemos este aspecto. El claustro gótico se inicia el 1357[11] en la parte norte del templo, sobre el antiguo claustro románico, pero por necesidades defensivas el 1374 se tiene que desmontar.[12] El campanario que podemos observar actualmente fue comenzado el 1368[13] bajo la dirección del maestro de obras Pedro Sacoma, di bien la parte más espectacular no fue realizada hasta el siglo XVI. Inicialmente era una torre-campanario no adosada a la iglesia, ya que hasta el 1488 no se comenzó la ampliación de ésta y hasta el 1605 no se inició la fachada principal barroca que aún en la actualidad podemos observar (figura 2).

Existieron otros edificios anexos al templo, como el refectorio que se situaría a levante del claustro, muy cerca de la actual sacristía, en época románica y a poniente en época gótica, y que corrió la misma suerte que el claustro ya que el 1374 fue derruido. También tenemos noticias de la existencia de una escuela de canto situada en la zona norte de la iglesia.

Del interior del templo no se conocen muchos datos. Durante el siglo XIII se otorgan beneficios para crear las capillas de San Jaime, San Vicente, San Esteban, San Lorenzo y Cecilia, que serían las primeras capillas que encontramos a la derecha y izquierda del crucero. El altar mayor estaba destinado a San Félix y el archivero diocesano Josep Maria Marqués menciona la existencia de un cimborrio de plata a raíz de las lapidas encontradas en San Félix[14] junto a un martirologio de esta iglesia. Esta opinión es contraria

a la expresada por el canónigo Dorca[15] y por Jaime Villanueva[16] que mencionan un relicario de plata, se trataría de un busto de plata con las reliquias del santo, costeado por Bernardo de Farnés. Una de las capillas más importantes era la del Santo Sepulcro que fue derruida en el siglo XVIII para construir la capilla de San Narciso (figura 5). Esta capilla, también conocida como la capilla de Vendrell (promotor de la obra que murió el 1348) se realizo en el año 1349[17] y el 1350 se contrata con el maestro Aloi las figuras del Santo Sepulcro que se han de ubicar en ésta.[18]

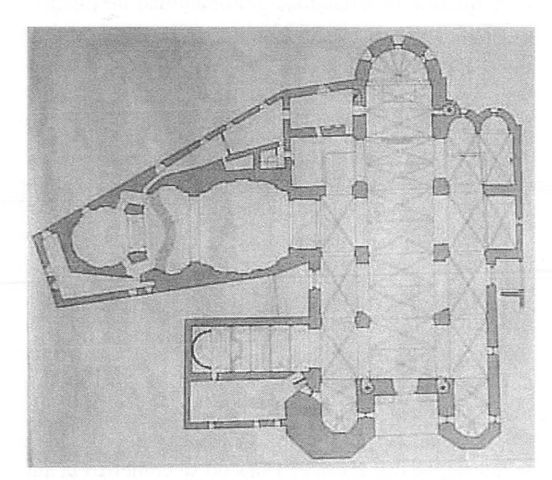


Figura 5
Planta actual (de Arcadi Pla i Masmiquel) con las ampliaciones del siglo XVII y XVIII.

El templo de San Félix como ya hemos indicado anteriormente sufrió constantes fortificaciones durante el siglo XIV. Tendríamos que preguntarnos él por qué de estas actuaciones que en otro edificio, es posible, no se hubieran realizado. Lo que queda muy claro es el gran interés existente para proteger el templo de posibles ataques. En este trabajo intentaremos argumentar que este hecho va íntimamente ligado a la importancia del culto a San Félix durante este período y a la aparición del culto a San Narciso (más popular o patriótico). La posible existencia de un *matyrium* seria otra de las razones —muy poderosa— para preservar un edificio de culto en este lugar sagrado. En 1361, se construyó una torre de defensa sobre la sacristía y la capilla del Santo Sepulcro (figura 6) muy

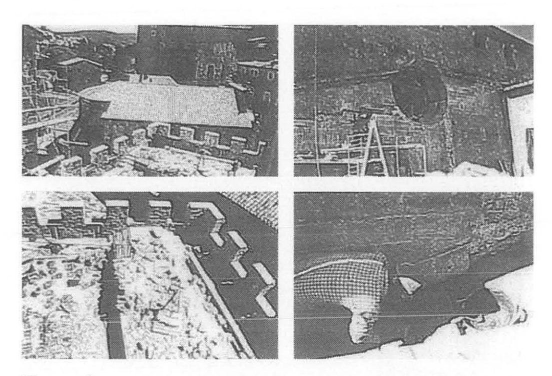


Figura 6
Obras de restauración para recuperar los elementos defensivos sobre la actual sacristía (Servicio de Restauración de Monumentos de la Generalitat de Catalunya i Diputació de Girona).

cerca del campanario románico.[19] En 1368, se fortifica el ábside y se realizan almenas y aspilleras sobre toda la bóveda de la nave central a causa de la guerra con el rey de Castilla, Pedro I el Cruel.[20] En el año 1374, se fortifica toda la iglesia y se construye una pasarela entre ésta y el castillo o portal de Sobrepuertas para poder defender mejor la iglesia. Por el mismo motivo son tapiadas las puertas de acceso a la iglesia. En el año 1385, a raíz de la rebelión del conde de Ampurias se fortifica el campanario de poniente (el que se inicio el 1368)[21] y se vuelve a realizar un puente que comunica el ábside y el portal de Sobrepuertas. En 1389 se vuelven a realizar obras debido a una incursión de los *Armanyacs*.

Tenemos que señalar que en el año 1385 cuando se fortifica el campanario —sería más correcto hablar de torre-campanario— éste no se encontraba adosado a la iglesia, como hemos comentado anteriormente.[22] La importancia de la torre-campanario como elemento defensivo viene dada por su tipología arquitectónica; se trata de un edificio alto, de reducidas dimensiones y por lo tanto, muy difícil de conquistar. No tenemos que olvidarnos de su simbología que nos permite relacionar la iglesia con la fortificada Jerusalem celestial.[23] Inicialmente en el templo de San Félix estaba prevista la construcción de dos torres o campanarios (el del lado sur-oeste nunca finalizado) ya que era más fácil defender la iglesia como ya pusieron de manifiesto los romanos en sus construcciones. Por lo tanto, originariamente, la función

de las torres era únicamente defensiva y no fue hasta más tarde que el campanario dejó de tener esta función.[24] Así pues, nos encontramos con unas torres-campanario que en un primer momento se encuentran aisladas, funcionando como autenticas fortalezas, y que más tarde pasan a formar parte de la iglesia.[25] Esta función de fortificación aislada, también la realiza la iglesia que en muchos momentos estuvo conectada con el castillo de Sobrepuertas por una pasarela.

No creemos que se pueda afirmar que la fortificación de San Félix fuera para proteger la iglesia de las luchas internas entre los diferentes burgos o barrios de la ciudad tal como menciona Isidro G. Bango para algunas iglesias de la Península.[26] Más bien pensamos que les necesidades son meramente defensivas, no sólo de la iglesia sino también de la ciudad, ante las hordas foráneas. En este sentido el rey Pedro el Ceremonioso, durante todo el siglo XIV, insiste en la fortificación de la ciudad de Girona, no sólo del burgo de San Félix sino también de los burgos del Mercadal, de San Martín de la Cuesta y de San Pedro de Galligants para proteger la ciudad.[27] Tenemos que recordar que la iglesia de San Félix se encuentra escasamente a cinco metros, en la zona más desfavorable, de la muralla de la fuerza vieja y concretamente del castillo de Sobrepuertas, además de ser el acceso norte, y por lo tanto el más expuesto a las compañías francesas que llegan a la ciudad desde la zona septentrional. Este hecho significa que la caída de la iglesia en manos de los asaltantes sea un peligro para el resto de la ciudad. La importancia de la fortificación de la iglesia queda justificada ya que muchos miembros de la ciudad donarán dinero para la construcción de las murallas dentro del burgo de San Félix.[28] Éste interés en la defensa de la ciudad por parte del rey, aunque sea su deber como señor de la ciudad, podría tener su origen en la afirmación que, reiteradamente, cita Christian Guilleré de que Girona es la «llave del reino» desde todos los puntos de vista (geográfico, económico, político, militar...).[29]

El culto en el templo de San Félix se acentuará con la aparición de la cofradía de San Narciso en el año 1307.[30] Su aparición estará relacionada con la construcción del sepulcro de San Narciso, promocionado por Guillem de Socarrats con la donación de 3000 sueldos, los restos del cuál hasta estos momentos se encontraban dentro de un sepulcro tradicional de madera, y los constantes asedios que sufrirá la ciudad de Girona. El primer aspecto parece evidente ya que el sepulcro estaba destinado a guardar las reliquias del santo de forma digna, elevando su figura con un sepulcro de calidad realizado por uno de los mejores escultores del momento, Jean de Tournai, circunstancia que haría aumentar la devoción al santo. Con la realización de este sepulcro ya existía un espacio sacro en el interior del templo donde la cofradía podía realizar sus ceremonias en honor al santo. Respecto al segundo aspecto, los constantes asedios que sufrirá la ciudad durante el siglo XIV y su resistencia conducirá a atribuir a San Narciso una serie de milagros.[31] Sus milagros, como el de las moscas, hacen que el enemigo se aleje de la ciudad sin conquistarla. Este hecho hará que el culto al santo gane en importancia y acabe conviertiéndose en el patrón de la ciudad en detrimento al de San Félix.

NOTAS

1. Guillere aportad dos ejemplos (Guillere, C.: *Girona al segle XIV*. Vol. I. Publicacions de l'Abadia de Montserrat. Barcelona, 1993, pp. 48-49).
2. Estas compañías tenían fama por los destrozos que producían a su paso (Ver Masiá de Ros, À.: «Pere del Cerimoniós, Enric de Trastàmara i l'entrada de tropes estrangeres a Catalunya», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XXV, Girona, 1981, pp. 259-268).
3. «[...] la ciutat compta en certs moments de la seva història amb l'ajuda del comte rei, perquè té un paper estratègic essencial en el dispositiu defensiu del Principat.» Guillere, C.: *op. cit.*, pp. 90 y 116-117.
4. Colomer i Preses, I. Mª.: «Les mosques i Sant Narcís», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins,* v. XXV, Girona, 1981, p. 535.
5. Para conocer el urbanismo de la Girona del siglo XIV se tiene que consultar el interesante trabajo de Canal, J.; Canal, E.: Nolla, J. M.; Sagrera, J.: *La ciutat de Girona a la 1ª meitat del segle XIV*. Ajuntament de Girona. Girona, 1998; realizado básicamente a partir del estudio de los fuegos de 1360.
6. Grabar, A.: *Martyrium. Recherches sur le culte des reliques et l'art chrétien antique*. Vol. I. Variorum Reprints. Londres, 1972, p. 47.
7. *Ut supra*, pp. 50-51.
8. Este edificio ha sufrido en los últimos años una serie de reformas realizadas por el Servicio de Restauración de Monumentos de la Generalitat de Catalunya con la colaboración de la Diputación de Gerona y el Obispado juntamente con la parroquia. Estas reformas se han concentrado en la reparación de les cubiertas del templo y en la

recuperación de los elementos defensivos de este. Son obras que se iniciaron en el mes de octubre de 1989 a raíz del convenio firmado entre la Generalitat, la Diputación de Gerona y el Obispado destinado a realizar una restauración global del templo. Estas obras finalizaron en el año 1999 con la restauración de la fachada sur del templo recuperándose los arcosolios de la entrada donde se encuentran un conjunto de lápidas funerarias, algunas de ellas desconocidas hasta ahora.

9. Lambert, E.: «Saint-Félix de Gérone église romane», *Revista de Catalunya*, vol. V, Barcelona, 1926, pp. 278-291.
10. « [...] en voyant le monument lui-même, il est impossible de ne pas être frappé de la manière singulière dont portées les nervures de la nef: les colonnettes sur lesquelles elles retombent s'arrêtent sur des culots au niveau du bas du triforium.» Lambert, E.: *op. cit.*, p. 281.
11. Como muchas de las obras realizadas en la iglesia de San Félix en este período el maestro de obras es Pedro de Capmagre. Queda constancia que trabajó en el año 1359: « Item solvi .XI. die ianuarii <1359> Petro Capmagre, magistro operis Sedis et Sancti Felicis, pro remanente laboris operis nostri Sancti Felicis, uidelicet in dando mensuras quotidie de diversis, .IIII. gallinas que decostarunt ... .V. sol.» ADG, Obra 1355-1365, despeses, f. 15. Todas las transcripciones de los documentos del Arxivo Diocesano de Girona (ADG); si no se especifica lo contrario, han estado facilitadas muy amablemente por Josep Mª Marqués.
12. «Item dilluns, a XVIII del dit mes aguí II mestres e III manobres per desfer les clasttres, axí con lo capità e mossen l.abat avien manat». ADG, Obra 1374-1384, despeses f. 5 rv.
13. «Item lo mestre de la obra, en Pere ça Coma e yo passam la barcha per treçar lo cloquer part la pila del pont, done a la barquera ... II diners». ADG, Obra 1365-1391, despeses f. 15.
14. Se adjunta la transcripción de Josep Maria Marqués de una de les lápidas, no conocida hasta ahora, encontrada durante la última restauración del templo (portada sur) realizada en los años 1998 y 1999, donde se menciona el baldaquino de plata situado sobre el altar de San Félix:

X *sum*PTIBUS IMM*en*SIS B*er*NARD*um de f*A*r*NER*io* X
QUE*m* LAP*i*S *i*ST*e* TEG*it* L*a*T*us* H*oc* ILMSR E*m*P*ir*REO
ete]R*ni*S IN C*i*S*ta* SUP*p*U*tat*UR AUREA LISTA X
DESUP*er* ARGENTUM QUE C*on*TUL*i*T *is*TE SAC*rista*
*Qu*E*m* D*eu*S ETERNA *i*USTOR*um* SORTE CORONET
P*r*ECA*c*IONIS MERITO *Pi*A G*a*UD*i*A DONET

Esta transcripción así como las otras transcripciones de les lápidas de la fachada sur del templo se pueden consultar en Marqués, J. M.: «Redescobriment d'inscripcions medievals a Sant Feliu de Girona », *Revista de Girona*, núm. 191, Girona, Noviembre-Diciembre 1998, pp. 32-38. Junto con la transcripción, que aparece en la página 36 encontramos la referencia al martirologio que dice: «Nono kal octobris. Eodem die obiit Bernardus de Farnes, sacrista secundus huius ecclesie, qui suum instituit anniversarium et fecit coopertorim Sancti Felicis argenteum in capite eiusdem et vasis listam posuit».

15. Dorca, F.: *Colección de noticias para la historia de los Santos Mártires de Gerona.* Imprenta de Tecla Pla Viuda. Barcelona, 1807, p.137.
16. Villanueva, J.: *Viaje Literario a las iglesias de España.* Vol. XIV. Imprenta de la Real Academia de las Artes i de la Historia. Madrid, 1851, p. 142.
17. Pedro de Capmagre esculpió la llave de la bóveda. «Item page al demont scrit P. De Capmagre per lo digous, divenres e disapte de le setmane demont scrite, e fo.y totes aqueste setmane e comensa aquests .III. dies de fer le ymage de la clau. Done.li a d. .III. sous per die, some ... .IX. sous». ADG, Obra 1349, despeses f. 7 v.
18. Freixas, P.: *L'art gòtic a Girona.* Col.lecció de Monografies de l'Institut d'Estudis Gironins, núm. 9. Girona, 1983, pp. 131-132.
19. «supra capellam G. Venrelli pro faciendo forciam ut prius, continuando eam uersus cloquerium» ADG, Obra 1355-1365, ff. 44-46.
20. «Obra per enfortir la Esgleya per les companyes, Dijous a XXVIII de setembre per manament e per ordinació del senyor Humbert de Fonoylar capitan per lo senyor rey dat a Gerona per tal com Bita? ab grans compenyes dehia que passaria e entraria en la terra del senyor rey e la dampnificaria, fiu enfortir lo cap de l'esgleya a sol ixent.»

«A pres que hague fet lo dit fortiment del cap de la dita esgleya ab marlets e ab corrador en lo dit cap bon e bel e fetas verdesas al cloquer e al cap de la esgleia vers ponent [ ] e fet los corradors per tot e feta encara una porta al mig del caragoll e paradat a pera e calç una volta que era en los clastres dessus sent Narcis vers cerç? Volets lo dit capita que tota la esgleya dalt sobre la volta major ço es sobre la paret dels corredors vers cerç se corragues del cap de la esgleya al cap dels vers ponent prop del cloquer aixi per sobre la volta major e sobre los roravolts de la esgleya se corragues per tot. E per cessar messió e per la obra exacutar ordona ques faes ab cabirons e permundols e cairats de roure e fuste e ab mantelets de fuyla per la qual cosa a fer fui les messions seguents» transcripción extraída de Masià de Ros, A.: «Algunos documentos referentes a obras en la colegiata de San Félix de Gerona», *Anales y Boletín de los Museos de Arte de Barcelona*, vol. III, Barcelona, 1945, pp. 345-346. El espacio que Masià de Ros deja en blanco Josep Maria Marqués lo transcribe como «[...] alt, e vers ço den Escala, [...]».

21. «MCCCLXXXV. En nom de nostre senyor Deus, amen. Yo, Bonenat des Pont, canonge e peborde de Tordera e obrer de Sent Feliu de Gerona, començ açi escriure les messions que he fetes per raho de la dite obre en aquest ayn de MCCCLXXXV.
Primerament, a IX del mes de janer de dit ayn començe a obrar en lo cloquer, per tal con les companyes eren entrades en lo comptat d.Empuries. E fo ordenat que faessem empits sus alt en lo cloquer per deffensar l.esgleya e la porte de ponent. E fiu aportar XVIII somades de calç den Lorenç calciner a rao de X diners la cortera, e avie en le somade IIII corteras, monte [ ]» ADG, Obra 1365-1391, ingressos, f. 21.
22. Esta disposición recuerda a las torres albarranas. Un ejemplo sería la torre del Castillo de Bellver en Mallorca.
23. *Apocalipsis,* cap. XXI i XXII.
24. Recordemos que la parte más espectacular del campanario de San Félix no se comenzó a construir hasta el año 1532 tal como indicó Clara i Resplandis, J.: «La construcció del campanar de Sant Feliu durant el segle XVI», *Revista de Girona,* núm. 104, Girona, 1983, pp. 189-197. Un antecedente lo podríamos encontrar «... en Oviedo donde, para proteger la catedral frente a los normandos, se construyó a finales del siglo IX una torre, la llamada —Torre Vieja— que cuando las condiciones fueron más favorables y propicias, vio aumentar su altura adquiriendo un aspecto y un caràcter más propio de lo que entendemos por una torre campanario (6).» Cantero Montenegro, J.: «Torres campanario de caracter militar», *Castillos de España de la Asociación Española de Amigos de los Castillos,* v. 94, Madrid, 1987, p. 34.
25. «Otro curioso ejemplo es el de la torre campanario de la iglesia parroquial de Bujedo, en la provincia de Burgos, cuya estructura muestra muy claramente su antigua condición de casa torreón, tan frequente en esta zona y en Vascongadas. Esta antigua edificación, cuando las condiciones sociales fueron más favorables, perdió su finalidad y en consecuencia quedó anexionada a la iglesia donde la mejor función que podía desempeñar fue la de servir de alojamiento a las campanas» Cantera Montenegro, J.: *Op. cit.,* p. 36. En este articulo el autor diferencia cuatro funciones en las torres de defensa: de vigía, de defensa, de refugio y 4 las torres-campanario. También apunta que la finalidad de las torres-campanario muchas veces converge y no les podemos asignar una sola función.
26. Bango Torviso, I.G.: «El verdadero significado del aspecto de los edificios. De lo simbólico a la realidad funcional. La iglesia encastillada», *Anuario del Departamento de Historia y Teoria del Arte,* Vol. IX-X, Madrid, 1997-1998, pp. 63-66.
27. Por este motivo el rey Pedro el Ceremonioso dictará una serie de Capítulos y Ordenanzas para fortificar la ciudad. Ver el artículo de Madurell i Marimon, J. M.: «Las obras de las murallas de Gerona (1362-1685), *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins,* v. XVII, Girona, 1965-1965, pp. 331-372. Es muy interesante la transcripción de un documento del año 1362 donde se habla de la conexión del castillo de Sobrepuertas y la iglesia así como del derrumbe de todos los edificios que toquen con las murallas para evitar que puedan utilizarse para traspasar la muralla, pp. 10-11.
28. Ut supra, p. 334.
29. Guillere, C.: *Op. cit.*
30. Marques i Casanoves, J. Mª.: «Les confraries medievals del bisbat de Girona», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins,* v. XXXIV, Girona, 1994, pp. 335-375. En las paginas 359-363 aparece la transcripción del texto referente a les ordenaciones de la cofradía de San Narciso.
31. Uno de los documentos más antiguos que hablan del milagro de las moscas es la crónica de Bernat Escrivà que vivió entre los años 1225 y 1288. Comenta en el capítulo 160: *De la pestilència de les mosques que Dèus tramès sobre els francesos* ... «primerament los tramès pestilències de mosques ...e eren mosques ben tan grosses... com una glan, e entraven per les narils als cavalls e devall per lo ces...; no.y havia tan forts ne tan poderós cavall que tantost no caygués a terra mort fret, així que bé.n moriren en aquella ost, per aquelles mosques, .IIII. mília cavalls de preu e ben .XX.ᵐ d'altres». Encontramos esta referencia en el articulo de Colomer i Preses, I. Mª.: «Les mosques i Sant Narcís», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins,* v. XXV, Girona, 1981, p. 536. En este artículo el autor hace un recorrido por una serie de documentos y de fuentes iconográficas que mencionan el milagro de las moscas de San Narciso.

Fuentes documentales

ADG: Arxivo Diocesano de Girona.

Bibliografía

Amich i Raurich, N. Mª.: «El culte a Sant Feliu de Girona en els llibres litúrgics hispànics d'època visigòtica (Segles VI-VII)», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins,* v. XXXIV, Girona, 1994, pp. 303-333.

Bango Torviso, I. G.: «El verdadero significado del aspecto de los edificios. De lo simbólico a la realidad funcional. La iglesia encastillada», *Anuario del Departamento de Historia y Teoria del Arte,* v. IX-X, Madrid, 1997-1998, pp. 53-72.

Canal, J.; Canal, E.; Nolla, J. Mª; Sagrera, J.: «Història urbana: la primera expansió meridional (Segles XI-XII)», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins,* v. XXXIV, Girona, 1994, pp. 13-29.

Canal, J.; Canal, E.; Nolla, J. Mª; Sagrera, J.: *La ciutat de Girona a la 1ª meitat del segle XIV*. Ajuntament de Girona. Girona, 1998.

Cantera Montenegro, J.: «Torres campanario de carácter militar», *Castillos de España de la Asocación Española de los Amigos de los Castillos*, Madrid, 1987, pp. 31-36.

Chamorro Trenado, M. A.; Llorens Montells, F.: *Els campanars gòtics a les comarques Gironines.*Diputació de Girona, Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona i Universitat de Girona. Girona, 1993.

Clara I Resplandis, J. «La construcció del campanar de Sant Feliu durant el segle XVI», *Revista de Girona*, núm. 104, Girona, 1983, pp. 189-197.

Clara, J. Y Marqués, J. Mª.: *Sant Feliu de Girona*. Col.lecció Sant Feliu. Girona, 1992.

Colomer I Preses, I. Mª.: «Les mosques i Sant Narcís», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XXV, Girona, 1981, pp. 535-542.

Dorca, F.: *Colección de noticias para la historia de los Santos Mártires de Gerona*. Imprenta de Tecla Pla Viuda, Barcelona, 1807.

Freixas i Camps, P.: «Girona medieval: muralles i ponts», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XXV, Girona, 1981, pp. 395-406.

Freixas i Camps, P.: *L'art gòtic a Girona*. Col.lecció de Monografies de l'Institut d'Estudis Gironins, núm. 9. Girona, 1983.

Grabar, A.: *Martyrium. Recherches sur le culte des reliques et l'art chrétien antique*. V. I. Variorum Reprints. Londres, 1972.

Guilleré, C.: *Girona al segle XIV*. Vol. 1. Ajuntament de Girona. Publicacions de l'Abadia de Montserrat. Barcelona, 1993.

Lambert, E.: «Saint-Félix de Gérone église romane», *Revista de Catalunya*, vol. V, Barcelona, 1926, pp. 278-291.

Lorés i Otzet, I.: «Sant Feliu de Girona. L'escultura romànica del trifori», *D'art*, núm. 14, Barcelona, 1988, pp. 47-60.

Lorés i Otzet, I.: «Escultura gironina del cercle del claustre de la Seu de Girona: alguns fragments de la Catedral i del Museu d'Art», *Estudi General*, núm. 10, Girona, 1990, pp. 71-92.

Marudell i Marimon, J. Mª.: «Las obras de las murallas de Gerona (1362-1685). Notas documentales para su historia», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XVII, Girona, 1964-1965, pp. 331-372.

Marquès Planagumà, J. Mª. «Cofraries medievals al bisbat de Girona», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins* , v. XXXIV, Girona, 1994, pp. 335-375.

Marquès i Planagumà, J. Mª. «Redescobriment d'inscripcions medievals a Sant Feliu de Girona», *Revista de Girona*, núm. 191, Girona, Novembre-Desembre 1998, pp. 32-38.

Masià de Ros, À.: «Algunos documentos referentes a obras en la colegiata de San Félix de Gerona», *Anales y Boletín de los Museos de Arte de Barcelona*, v. III, Barcelona, 1945, pp. 341-357.

Masià de Ros, À.: «Pere del Cerimoniós, Enric de Trastàmara i l'entrada de tropes estrangeres a Catalunya», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XXV, Girona, 1981, pp. 259-268.

Roure i Güibas, G.: «El sermó en honor de Sant Feliu de Girona», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XXXIV, Girona, 1994, pp. 295-302.

Valls I Taberner, F.: «Els usatges i consuetuds de Girona», *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, v. XVII, Girona, 1964-1965, pp. 107-162.

Villanueva, J.: *Viaje Literario a las iglesias de España*. Vol. XIV. Imprenta de la Real Academia de la Historia. Madrid, 1851.

Un paseo matemático por las bóvedas a través de la Historia

María José Chávez de Diego
Pastora Revuelta Marchena

De la antigüedad a la época del hierro

El gran arquitecto Marco Lucio Polión Vitruvio (siglo I a. C.), que tanta influencia ha tenido no sólo en su época, sino cuando posteriormente se publicara sus *Diez Libros de Arquitectura*, en 1486 en Roma, afirma que es necesario conocer la Geometría y la Aritmética. Estos conocimientos matemáticos no son otros que los que se recogen en el monumental tratado geométrico *Los Elementos* de Euclides de Alejandría (siglo III a. C.). Euclides recopila en trece libros nociones como rectas, ángulos, triángulos, círculo, polígonos, planos, pirámides, prismas, cilindros, esfera, cono, octaedro, icosaedro, dodecaedro, cubo, paralelismo, semejanza, teoría de la proporción y teoría de número entre otras. Durante dos milenios, este magno tratado, *Los Elementos*, ha sido el más utilizado y estudiado a excepción de la Biblia, y, además de ejercer una enorme influencia en el pensamiento científico, determinó la enseñanza de la geometría hasta nuestros días.

Si analizamos la Historia de la Geometría desde Euclides y su aplicación a las artes, distinguiremos dos corrientes: la *geometría teórica* y la *geometría práctica*. La primera nos enseña el rigor y la belleza de las formas simples reproducibles, pero lejos de la contingencia de la técnica de construir y de las leyes de la gravitación. Nuestro interés se centrará en la segunda, según Ruiz de la Rosa, la *«geometría fabrorum»*, que es la que se utiliza para la construcción y se transmite casi intacta sin incorporar conocimientos nuevos desde la Antigüedad hasta bien entrado el siglo XVIII.

Desde Roma hasta la época de la construcción en hierro, (siglo XIX), en las bóvedas se usa la geometría de regla y compás, la teoría de la proporción y muy lentamente se va incorporando la trigonometría y el álgebra.

La esfera, el cilindro circular, los polígonos regulares y el círculo son los rudimentos geométricos euclídeos que mediante procedimientos empíricos permiten construir las diferentes bóvedas a lo largo de estos siglos.

Señalamos, por ejemplo, las cúpulas termales romanas cuyo modelo, en esencia, es una semiesfera asentada sobre un tambor cilíndrico de la misma altura que su radio. El Panteón, obra cumbre de la arquitectura romana, sigue el modelo de la cúpula termal; se asienta sobre un tambor perfectamente circular con un casquete capaz de inscribir una esfera completa.

Así mismo, los constructores bizantinos no necesitan de nuevas nociones geométricas para resolver múltiples problemas tales como la utilización de pechinas como elemento perfecto de transición del cuadrado al círculo, la acumulación de cúpulas y bóvedas para compensar los empujes de cúpulas esféricas asentadas sobre plantas cuadradas.

Es bien sabido que los árabes tuvieron el mérito de haber sabido conservar para la humanidad las matemáticas griegas e indias; pero además contribuyeron de forma original al desarrollo de la trigonometría

plana y esférica, así como el álgebra. Ahora bien, no parece que estos avances tengan una relación directa con la aportación fundamental de los árabes a la construcción de bóvedas. Las cúpulas nervadas que ellos construyen ponen de manifiesto que conocen el principio de que *una forma se comporta según los elementos resistentes de su interior*. Sin embargo, tienen que pasar siglos hasta que aparezca el cálculo diferencial que le dará justificación en la teoría de estructura. La geometría aparentemente compleja que aparece en las cúpulas estrelladas, cúpulas de nervios vistos u ocultos, cúpulas poligonales, etcétera, se obtiene con las mismas nociones de geometría básica que ya hemos mencionado.

La bóveda de medio cañón o apuntada, característica del románico es una solución fácil de construir y trazar con arcos de circunferencias y tangencias pero los empujes laterales presentan serios problemas de estabilidad. El gótico aporta como solución las bóvedas de crucería que reducen el volumen y, por lo tanto, el peso de la cubierta. Los muros dejan de ser un elemento imprescindible en el equilibrio del conjunto. Con la bóveda de crucería se pueden conseguir superficies alabeadas; pero el problema radica en el tallado exacto de la piedra en sus tres dimensiones para que las nervaduras aparezcan como arcos puros sin sinuosidad.

Obsérvese que aún cuando no se tiene la *geometría descriptiva*, que los sistemas de medidas no están unificados. Las únicas herramientas matemáticas siguen siendo la geometría elemental euclídea, la simetría y la teoría de la proporción. Las matemáticas no se entienden como algo abstracto, sino como instrumentos útiles a la hora de resolver problemas concretos de la construcción. Otras herramientas inseparables a éstas son el compás, la regla, la escuadra o norma, la plomada o cateto, el nivel y el cartabón.

Como es sabido, la construcción de las catedrales góticas da lugar a la masonería o gremio de albañiles constructores de catedrales que desarrollaran bajo la base del esoterismo todo el saber constructor medieval, reencarnando con mucha exactitud la tradición de las sectas pitagóricas griegas. Los maestros de la masonería convirtieron la geometría en secreto por lo que eran conocimientos muy valorados.

La *geometría práctica* de los masones no incorpora los nuevos conocimientos matemáticos bien conocidos y asentados ya en su época como los que aporta Leonardo de Pisa Fibonacci (1170-1240) en su libro *Liber abaci*. Asimismo, en el siglo XIII aparecen las primeras traducciones de las obras clásicas, ya se tienen a mano tanto la estática de Arquímides como la cinemática de Aristóteles. Pero no se utilizan para resolver los inmensos problemas del crecimiento en altura de las naves y la complejidad de las soluciones de cubierta.

La catedral de Milán es un buen ejemplo de todo lo que estamos afirmando. En ella se conjuga la Geometría de regla y compás, simetría y proporción. Por sus actas tenemos conocimientos de las dudas estructurales de los maestros a lo largo de su construcción hasta el momento de iniciar las bóvedas.

En el Renacimiento algo, aún poco, empieza a cambiar. Las Matemáticas avanzan considerablemente; se tienen contribuciones importantes en el campo de la geometría, del álgebra y la trigonometría. La geometría pura se desarrolla según nuevas orientaciones con el descubrimiento de las primeras nociones de la geometría descriptiva y proyectiva. Desde el milenio III a. C. las técnicas constructivas de los edificios llevaban la utilización de la proyección ortogonal sobre el plano horizontal. Como es sabido, Vitruvio, ya utiliza simultáneamente la proyección horizontal y la vertical, pero sin asociarla a una misma figura. En la Edad Media se utilizan planos y alzada de distintas partes de catedrales, pero no se aplican simultáneamente a un mismo objeto.

Los precursores de la geometría descriptiva y proyectiva son entre otros los arquitectos Filippo Brunelleschi (1377-1446) y León Battista Alberti (1404-1472) y los pintores Leonardo da Vinci (1452-1519) y Piero de la Francesca (1416-1492).

Brunelleschi tuvo la idea de representar objetos en tres dimensiones sobre un plano. Alberti una de cuyas obras es la Iglesia de Santa María Novella, es el autor del primer estudio de la perspectiva científica «Della Pictura» 1446. Los pintores introducen la perspectiva lineal en sus talleres. Dice Leonardo al comienzo de su *Trattado della pintura*: «*Nadie que no sepa matemáticas lea mis obras*», imitando la frase que Platón mandó escribir en la entrada de la Academia.

¿A qué matemáticas se refiere Leonardo? A las que se enseñan en las Escuelas de Ábaco dónde acuden los artesanos y comerciantes. Si tomamos uno de los tratados de ábaco más importante como es la *Summa de Aritmética Geometría Proportioni et Proportinaliti* (1494) de Luca Pacioli (1445-1517), ob-

servamos cómo en él se recogen los conocimientos existentes hasta la fecha de aritmética teórica y práctica, geometría teórica y práctica y álgebra. La parte geométrica que aparece en la *Suma* es poco importante en cuanto a nuevos conocimientos, de donde se deduce fácilmente que las formas geométricas de las bóvedas renacentistas siguen siendo las mismas que las utilizadas en el pasado. Ahora bien, las dimensiones de las cúpulas y sus estructuras son más audaces, contrastando las deficiencias técnicas con la fuerte invención. Es el caso de Brunelleschi con la catedral de Florencia, donde defiende una técnica nueva para dar respuesta a las dificultades de construcción de la cúpula. La solución del doble cascarón le permite integrar en un solo movimiento la composición, la estructura y los medios de realización de la misma.

Es sabido que para los pitagóricos y sus sucesores hasta prácticamente el siglo XVII, los fenómenos de la naturaleza obedecían a una armonía universal asociada al círculo, el cuadrado y el número de oro. Galileo Galilei (1564-1662), a principios del siglo XVII, supera esta física basada en la geometría y la proporción dando las primeras explicaciones del equilibrio sin evidencia, *equilibrio in harmónico*. Ex pone que el equilibrio no es un estado amorfo de los sólidos, sino las coincidencias dinámicas de las fuerzas contrarias que anulan mutuamente sus efectos.

Esta ciencia mecánica se desarrolla justamente con Isaac Newton (1642-1727) y Robert Hooke (1635-1703) sin una verdadera influencia sobre las construcciones pues los materiales de construcción permanecen demasiado inertes y pesados para que las nuevas leyes físicas hagan posible la elección de nuevas curvas y superficies en las cubiertas. Será necesario esperar a la incorporación del hierro, material deformable y elástico, para encontrar aplicaciones basadas en estas nuevas teorías.

Explícitamente, Galileo se preguntaba por la flexión de un pilar y Hooke aportaba la ley de deformación de los materiales, dando origen a la teoría de la resistencia de los materiales. Aunque los principios en que había de basarse la Teoría Matemática de la Elasticidad fueron esbozados por Galileo y Hooke en el siglo XVIII, como hemos mencionado antes, y se fueron concretando con las investigaciones de Euler, Coulomb y los Bernouilli, su planteamiento definitivo no fue posible hasta que estuvo plenamente desarrollado su principal instrumento, el cálculo diferencial e integral. En 1821 exactamente, cuando Navier y Cauchy obtienen las ecuaciones diferenciales básicas de la Elasticidad, es cuando evoluciona rápidamente dicha teoría.

Hasta finales del siglo XVIII se construía con técnicas que descendían de manera natural de las de la Alta Edad Media y Renacimiento. Pero en el pasaje del siglo XVIII al XIX, se tornó posible el uso del hierro como material de construcción; primero, la fundición y luego los distintos tipos de acero. Con gran rapidez el hierro invade y revoluciona toda la técnica de construir. Con el hierro eran posibles estructuras que no hubieran podido intentarse con las técnicas del pasado; que se adaptaban muy bien a las necesidades de los programas típicos de las grandes concentraciones propias de la era industrial: almacenes, amplios talleres, estaciones. El mismo proceso de montaje de las piezas de hierro hacía que el edificio pudiera descomponerse en entramados planos, y éstos eran calculables. Los grandes avances de la ciencia de la construcción son contemporáneos de esta revolución técnica.

La aparición de estos nuevos materiales de construcción con la Revolución Industrial hace que sean los primeros ingenieros de principio del siglo XIX los que en las construcciones de los puentes, el ferrocarril y sus grandes estaciones, comiencen a utilizar nuevas formas geométricas con el apoyo del cálculo diferencial. Señalamos como ejemplo en Inglaterra, A. Derby construye (1777-1779) el primer puente totalmente de hierro. La Estación del ferrocarril de Paddington en Londres (1852-1854) del ingeniero I.K. Brunel y el arquitecto M.D. Wyatt, que es totalmente de acero y cristal. Y la cúpula metálica del antiguo mercado de trigo de París (1806-1813) construida por el arquitecto F. J. Belanger y el ingeniero F. Brunet. El record en bóveda se alcanza en la exposición de París en 1889. La sala de máquinas construida por C. Huincin, ingeniero, y Dutert, arquitecto, tiene arcos con una luz de 115 metros. Las cubiertas de grandes luces han irrumpido en la construcción.

La edad del hormigón: Gaudí, Candela y Dieste

El siglo XIX representa el triunfo de la ciencia pura y de su aplicación práctica o tecnología. Es un período de intenso desarrollo matemático. La renovación de la geometría pura está asegurada por los trabajos de Poncelet (1788-1867), que marcan la verdadera

creación de la geometría proyectiva como rama autónoma de la geometría. La geometría analítica conoce una expansión brillante marcada por los trabajos de la escuela francesa y por el papel dominante de Plucker (1801-1868) y su introducción a la geometría reglada. Aparece una nueva disciplina, la geometría algebraica, y la renovación de los métodos de estudio de las curvas y superficies desde un punto de vista algebraico, que tomará su forma definitiva en el siglo XX. La geometría diferencial moderna será obra de los trabajos de Monge (1746-1818), Gauss (1777-1855) y Riemmann (1826-1866). Pero, indudablemente, las figuras matemáticas dominantes de la época son Gauss y Cauchy (1789-1857). Gauss desarrolló un marcado interés por la geometría general y, en particular, por la geometría no euclídea. La publicación, en 1827, de sus *Disquisitiones circa generales superficies curvas*, supone una contribución definitiva a la geometría diferencial en el espacio de tres dimensiones. Cauchy, entre sus muchas otras contribuciones a las diferentes ramas de las matemáticas, mejoró y clarificó los conceptos de la teoría de curvas en el espacio de sus *Leçons sur les aplications du calcul infinitesimal a la géometrie* en 1826. Su desarrollo de la geometría de curvas es prácticamente moderno. Deduce fórmulas modernas para los cosenos directores, la curvatura de curvas, además de introducir el plano oscilador como el formado por la tangente y la normal principal.

Pero la revolución técnica continuó y en la segunda mitad del siglo XIX se descubre el *hormigón armado*, que llega a ser uno de los materiales con más vitalidad de hoy.

Fruto conjunto, del amplio desarrollo de las matemáticas y de su aplicación a las técnicas de construcción, y del descubrimiento del hormigón armado, habría que resaltar una nueva revolución por la que se reencontrarían formas de trabajo superficiales de la materia, más expresivas y racionales. De aquí nace la vuelta de las bóvedas, las cúpulas, las estructuras plegadas, primero de hormigón armado, luego de cerámica.

Cuando la humanidad se ha enfrentado con el problema de la cubierta, ha desarrollado, en cada época, los más nobles e impresionantes ejemplos de arquitectura, y ha encontrado disposiciones formales y métodos constructivos con los que superar las limitaciones de los materiales existentes y utilizar al máximo sus posibilidades.

El estudio de los ejemplos de la naturaleza, en busca de inspiración para resolver problemas de cubiertas, es aún más oportuno, cuando un material, el hormigón armado, que puede fundirse en cualquier forma, se ha vuelto de uso común en construcción. Este material, muy similar al de los cascarones naturales, tiene la ventaja adicional de poder resistir esfuerzos de tracción. La primera lección que la naturaleza nos enseña es que los cascarones pétreos son siempre de doble curvatura. Ello se justifica al considerar la ventaja de evitar momentos flectores en ellos. Pero la prevención de flexiones y, en general, la función resistente depende esencialmente de la forma.

El estudio de la Historia de la Ciencia explica cómo estas formas se determinaron y estudiaron a partir de la geometría analítica, intuida por Desargues (1591-1661) en el siglo XVII, y se halló la manera de dibujarlas a partir de la geometría descriptiva de Gaspar Monge.

Ambas geometrías permitieron determinar una serie de propiedades de las superficies alabeadas regladas, que encuentran su aplicación en el campo de la arquitectura.

Así nos encontramos con la genialidad de tres grandes constructores A. Gaudí, F. Candela y E. Dieste, cuyo amplio conocimiento matemático-científico hizo que encontraran en las superficies regladas el ideal para las construcciones de sus impresionantes cubiertas.

Gaudí (1852-1926)

De su atenta observación de la naturaleza, Gaudí dedujo que la geometría reglada se produce espontáneamente en la tierra por causa tan universal y continua como es la ley de gravedad. Si ésta, combinada con el esfuerzo eólico o la fuerza del crecimiento orgánico de los seres vivos, genera con tanta frecuencia superficies regladas, quiere decir que éstas se pliegan fácilmente al cumplimiento de las leyes, siguiendo un estricto principio de funcionalidad. La naturaleza no produce obras de arte sino elementos estrictamente funcionales, ya que si llega a producir alguno que no sea funcional, pronto lo elimina. Sucede que estas formas funcionales resultan a los ojos del hombre de gran belleza. Gaudí utilizó en su arquitectura las formas alabeadas en el espacio de la geometría reglada:

el hiperboloide, el conoide, el paraboloide hiperbólico o el helicoide.

Se alejó de la vía común de los arquitectos, formados desde siempre en la geometría clásica de líneas, planos y sólidos regulares que son fáciles de trazar con regla, escuadra y compás, pero que rara vez se encuentran en la naturaleza. Dejó el campo del dibujo sobre el plano por creerlo convencional y poco representativo, y se convirtió en un modelista que construía sus edificios con maquetas y modelos de yeso, arcilla o madera, elaborando sólidos que serían de complicado dibujo pero que nacen entre las manos del modelista que se inspira en la geometría de las montañas, los árboles o los animales. Las formas estructurales utilizadas por Gaudí son radicalmente distintas de las que emplearon sus contemporáneos. Debido a su innato sentido de la forma y la estabilidad, utilizó desde sus primeras obras el arco parabólico o catenárico como elemento lineal más próximo a la curva de presiones. Es el arco llamado funcional o mecánico y que utilizó siempre sin tener en cuenta si su forma podía parecer bonita o fea, ya que creía que por el hecho de cumplir su función era automáticamente el mejor de todos, puesto que dibuja la forma que espontáneamente toman los arcos al ser cargados. También empleó el falso arco formado por hiladas sucesivas de ladrillo en voladizo y que tiene una forma asimilable a la parabólica. Fue muy común en la arquitectura islámica y Gaudí lo utilizó repetidamente. Estos arcos parabólicos muy delgados, de ladrillo *picholín* o *de rasilla*, le permitieron hacer techos sin vigas, como es el caso de Bellesguard, las Teresianas o el desván de la Pedrera.

En la colonia Guell, utilizó el sistema empírico de cálculo con la famosa maqueta *estereostática*, por cordeles y saquitos de perdigones, de gran ingenio y simplicidad. Gaudí hizo el diseño de la iglesia y determinó las cargas que se producirían en arcos y bóvedas. La determinación de la forma de la estructura se consiguió suspendiendo, con cordeles o bramantes, sacos de lona conteniendo perdigones cuyo peso era proporcional a las cargas calculadas. Los cordeles así cargados dibujaron espontáneamente las formas del esqueleto de la futura iglesia. La maqueta de la colonia Guell contiene todas las soluciones estructurales previamente estudiadas por Gaudí.

En el pórtico de esta cripta, construyó las primeras bóvedas tabicadas de paraboloide hiperbólico, así como los muros que adoptan esta misma forma de superficie alabeada reglada.

Cabe mencionar en este punto que estas formas presentan extraordinarias ventajas estructurales y constructivas. Son superficies de doble curvatura, lo que hace posible que las fuerzas externas, las cargas, se transformen en esfuerzos directos o de membrana, es decir, esfuerzos que en cada punto de la superficie están contenidos en el plano tangente a ésta, con la exclusión de flexiones en la lámina y, de este modo, el material trabaja de la manera más eficiente posible. Desde el punto de vista constructivo, la propiedad de estas superficies de poseer dos sistemas de generatrices rectilíneas simplifica considerablemente la ejecución de la cimbra o encofrado en el que no intervienen más que piezas rectas. Plásticamente, basta con variar la curvatura o alabeo para conseguir una extensa gama de formas, de aspecto cambiante con el punto de vista, que permiten una gran libertad de adaptación a las exigencias arquitectónicas.

Quizás el primero en emplearla fue Gaudí, que buscaba para la bóveda en piedra del Templo de la Sagrada Familia de Barcelona una forma a tono con la construcción. Imbuido aún de las concepciones del siglo XIX, Gaudí veía en el paraboloide hiperbólico no sólo una forma constructiva, sino una figura simbólica, una alegoría de la Santísima Trinidad (dos rectas directrices idénticas e infinitas —Padre e Hijo—, una tercera recta, la generatriz —Espíritu Santo—). Nos encontramos también con la estructura arborescente de la nave central de la Sagrada Familia. En la última maqueta del templo los pilares de las naves son inclinados y se descomponen en forma de ramas y hojas de tipo arborescente. Se trata de composiciones naturalistas pero simplificadas a la geometría reglada dando lugar a espacios internos de aspecto arquitectónicamente inédito aunque recuerden la disposición de los bosques. Las bóvedas, perforadas en las claves, tienen forma hiperboloidal para permitir el mejor paso de la luz natural.

En la segunda cúpula del palacio Guell tenemos las bóvedas helicoidales y en la cubierta de las Escuelas de la Sagrada Familia nos encontramos con las bóvedas de conoides de plano director.

Candela (1910-1997)

A principios del siglo XX, el ideal estético era la piedra tallada, con sus caras planas bien delimitadas; el volumen estaba constituido a partir de un sistema or-

togonal y por lo tanto no podía hallar un lugar adecuado para las construcciones de cubiertas laminares ni para sus superficies de doble curvatura. Sin embargo, casi todas las formas constructivas empleadas en la actualidad, incluso las cubiertas laminares en forma de paraboloide hiperbólico, fueron desarrolladas entre los años veinte y treinta del siglo XX. Este desarrollo, fue el resultado de la aplicación de los grandes avances matemáticos ocurridos en el siglo anterior y de la obra de un círculo de constructores con el objetivo común de conseguir volúmenes adecuados con el mínimo consumo de materiales. Destacamos entre ellos a F. Aimond, que en 1936, publicó en las *Memorias de la Asociación Internacional de Puentes y Estructuras*, de Zurich, su *Estudio estático de las velarias ligeras de paraboloide hiperbólico trabajando sin flexión*. En este trabajo, Aimond desarrolla los métodos de cálculo de cubiertas laminares en forma de paraboloide hiperbólico y ofrece sugerencias sobre las formas que deben tener tales cubiertas. En Félix Candela, influido por los trabajos de Gaudí y Aimond, nos encontramos con el maestro de la construcción de cascarones. Utilizaba todas las formas de láminas en principio conocidas: la lámina en forma de cúpula o la lámina cilíndrica y sobre todo la lámina reglada, como las superficies alabeadas, los cascarones paraboloides hiperbólicos (*hypar*).

Candela construía también láminas onduladas y láminas que semejaban papel plegado, las llamadas *plegadas*. Todas sus láminas son extremadamente finas. Están hechas de mortero reforzado o de hormigón, y se preparan sobre un encofrado de madera.

Alrededor del año 1950, la lámina cilíndrica disfrutaba de gran éxito y se utilizaba para las cubiertas de soportales o naves industriales. Necesitaba refuerzos en los apoyos, debía tener al menos 8 cm de espesor y requería una armadura compleja. Su resistencia igualaba a la de una viga. En Alemania, esta lámina cilíndrica presentaba una forma sencilla, pero su construcción era complicada; sólo en raras ocasiones se la abordaba.

Los cascarones de Candela tienen formas complejas pero son fáciles de construir. Tienen menos de la mitad de espesor y su armadura es relativamente sencilla. Para estas construcciones, que se levantan sobre los pantanos de Ciudad de México y que de vez en cuando son sacudidas por duros terremotos, la ligereza es una gran ventaja. En ellas, la cimentación está reducida, y en consecuencia se aminoran las cargas sísmicas.

Las gruesas cubiertas *alemanas* se verían en dificultades para sobrevivir en México.

Las delgadas superficies de los cascarones están a menudo sometidas a esfuerzos de compresión. Los esfuerzos de compresión dan lugar a plegamientos y abolladuras en la superficie de las láminas. Especialmente sensible es la lámina cilíndrica; menos sensibles son, por el contrario, las láminas en cúpula y la bóveda de aristas.

Los hypars y los hiperboloides eran las nuevas estrellas en el firmamento de las cubiertas de los años treinta y cuarenta. Eran rígidas y de fácil construcción, al tiempo que podían ser delgadas. Su contracurvatura reglada proporcionaba la esperada rigidez.

De forma totalmente independiente uno de otro, y sin sospecharlo, proyectaron Candela y Frei Otto dos construcciones parecidas. Candela, su lámina ondulada en estrella sobre las aguas de los jardines flotantes de Xochimilco, terminada en 1958; Otto, la cubierta ondulada en estrella sobre el agua del Tanzbrunn en Colonia, terminada en 1957. Ambas construcciones tienen cometidos parecidos y el mismo tamaño con una forma similar. En la construcción yace la diferencia fundamental: la obra de Candela es una estructura laminar fuerte, duradera pero delgada; el techo del Tanzbrunn es una cubierta transparente, proyectada sólo para un verano. Las dos construcciones permanecen aún hoy.

Destacamos que las obras de Candela nos presentan una personalidad artística donde convergen el Arquitecto, el Ingeniero, el Constructor, el Maestro de Obras,... y junto a la definición formal que éstas puedan tener, subyace el carácter experimental impregnado de su presencia a lo larga de todo el proceso, desde la idea conceptual, pasando por la ejecución hasta llegar a la obra acabada, siguiendo el criterio del *Magister operi* clásico. Además de ser un pionero de las estructuras delgadas, de las estructuras laminares, etc..., aparece una personalidad que recoge el hormigón como único material de trabajo, utilizando geometrías muy precisas en un esfuerzo de síntesis, haciendo recordar quizá la idea de Cezanne «hay que aprender a mirar la naturaleza en forma de conos, cilindros, esferas y pirámides».

Otro aspecto paralelo, es la proyección de la obra de Candela dentro del ámbito de la arquitectura y la construcción como concepto científico o teórico-me-

cánico. El campo de trabajo elegido, a pesar de tener una base artesanal muy profunda, está impregnado por el uso de conceptos geométricos avanzados, como son la geometría del paraboloide hiperbólico, del elipsoide, de la esfera, del conoide, del cilindro,...; su obra tiene, por tanto, una gran carga de análisis geométrico y matemático. Encontramos, junto a una importante componente intuitiva, un análisis estructural muy complejo. Hoy en día, estos cálculos requerirían métodos muy avanzados, con la ayuda de un ordenador, que difieren de los métodos de análisis que utilizaba Candela, pero que subrayan la importancia de su formación académica en el marco de las Escuelas Técnicas Superiores españolas en las que el aprendizaje de las matemáticas y de la geometría descriptiva impregnaba toda la enseñanza. La paradoja que se establece entre la intensa base científica del Maestro y los medios de los que disponía en México para la construcción de encofrados, dosificación de hormigones, etc... refleja un carácter extremadamente audaz que subyace en todos los aspectos de su obra.

Desde 1945 muchos arquitectos e ingenieros han experimentado con las estructuras laminares. Sólo un hombre, Félix Candela, logró convertirlas en una obra maestra. Se concentró especialmente en las cubiertas hypars y sus combinaciones. Así nos encontramos con el paraguas, resultado de combinar cuatro segmentos de hypar. Gracias a su simplicidad demostró ser uno de los medios más económicos para cubrir el espacio, y permitió competir en precio con los sistemas más baratos de techos industriales. El encofrado de cada paraguas se divide en cuatro partes fácilmente movibles, incluso con medios mecánicos primitivos, lo que permite la construcción en serie de cubiertas formadas por repetición de estos elementos. Mediante diversas combinaciones de los paraguas (inclinándolos en diente de sierra, en dos niveles, prolongándolos hacia el centro y formando otro invertido entre ellos, prolongándolos hacia los extremos, etc.) se construyeron miles de paraguas en edificios industriales.

Otra combinación de cuatro segmentos de hypar, haciendo horizontales las aristas de unión entre ellos y apoyándose en las esquinas, produce los techos a cuatro aguas formados por hypars. Los apoyos han de ir atirantados perimetralmente. Al construirse muchas unidades, éstas se separan dejando entradas de luz que acaban configurándose como «pasillos de iluminación» colgados de las vigas de borde. También se utilizaron los paraguas invertidos, que, como zapatas de cimentación, proporcionaron una solución muy económica al frecuente problema de los cimientos en suelos de baja capacidad de carga. Exagerando la altura o flecha de los paraguas, desimetrizándolos y llevando a cabo otras simples manipulaciones de los hypars, se consiguieron espectaculares estructuras de formas alabeadas, todas ellas paraboloides hiperbólicos. Así surgió la iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa, que tanto impacto causó en su momento, como aún lo hace en nuestros días.

Nos encontramos también con dos paraboloides hiperbólicos retorcidos 90 grados, en planta triangular, con la base horizontal y el extremo totalmente vertical. Uniendo varios de estos últimos se consiguen las estructuras llamadas por el autor «en abanico», que se utilizaron en las espectaculares cubiertas de la estación de Metro Candelaria.

La configuración más sencilla del paraboloide hiperbólico es en la que aparece limitado por generatrices rectas. Utilizando láminas con esta forma, construyó bastantes edificios, generalmente estructuras religiosas. Formalmente, la utilización de este tipo de estructuras va desde la más sencilla formada por una simple hoja de hypar, hasta combinaciones de dos, tres, cuatro o seis hojas, iguales o desiguales, de hypars. El principal problema con que se encuentra Candela en este tipo de estructuras aparece ya en la primera de ellas, la capilla del Altillo. La cubierta de esta iglesia es una hoja de hypar de planta romboidal como lo serán las plantas de hypars combinados en las estructuras de las demás iglesias de este tipo, lo que significa que el eje Z no es vertical y, por lo tanto, el peso muerto de la losa de 4 cm tiene componentes según los tres ejes del hypar. Tuvieron que ser generalizadas las ecuaciones de esfuerzo de membrana del hypar para poder usarse en esta estructura y en las siguientes. Este desarrollo teórico no tenía precedentes en la literatura técnica.

El hypar limitado por parábolas principales constituye la típica configuración de este tipo de superficie, también llamada *silla de montar*. El hypar, considerado como superficie de traslación, se genera por una parábola que se mueve, paralela a sí misma, a lo largo de otra parábola situada en un plano perpendicular.

El Pabellón de Rayos Cósmicos, de 1951, fue el primero en que se utilizaba el hypar para dar mayor rigidez a una bóveda casi cilíndrica de tan escaso es-

pesor. Fue esta estructura la primera que dio gran prestigio a Candela, tanto por la gracia de su sencillez formal, como por el alarde técnico que suponía su extrema delgadez. El espesor de este cascarón oscila entre 1,5 y 2 cm, requisito funcional para dejar pasar a través de él los rayos cósmicos que se registraban en el interior.

Nos encontramos también con bóvedas por arista con hypars. El ejemplo más sencillo de este tipo de estructuras es una bóveda creada por la intersección de dos segmentos de hypar en forma de silla de montar. Su encofrado es más simple que el de una bóveda formada por intersección de cilindros, por tener dos sistemas de generatrices rectas. Además, al estar constituida por superficies no desarrollables, es mucho más rígida y permite construirla con espesores menores.

La primera bóveda de este tipo la construirá para la Bolsa de Valores de México, y durante su ejecución, Candela empezó a intuir la posibilidad del borde libre, que se experimentó por primera vez en la iglesia de San Antonio de las Huertas Isin (utiliza vigas o nervaduras de borde y manteniendo por tanto un espesor constante de 4 cm en toda la losa). Como cada punto del borde curvo está conectado a las aristas por dos líneas rectas, si consideramos éstas como piezas de compresión o tracción, es posible dejar los bordes curvos libres de esfuerzos tangenciales o normales y llevar todas las cargas a los apoyos a través de las aristas.

A partir de esta obra se construyeron muchas bóvedas por arista, siempre con el borde libre, y se experimentó todo tipo de combinaciones triangulares, cuadradas, pentagonales, hexagonales, octogonales. Quizás la más famosa de estas estructuras sea el cascarón del restaurante Los Manantiales en Xochimilco, de planta octogonal, formada por la intersección de cuatro hypars; otro ejemplo destacable, bellísimo, de esta familia estructural, y que ha inspirado a muchos arquitectos, es la planta embotelladora de la destilería Bacardi en Cuautitlán. Esta cubierta está compuesta por seis bóvedas por arista cuadradas y con bordes volados, que se separan en las esquinas formando lucernarios. Estas bóvedas son las mayores construidas por Candela, con 30 m de lado, y son un ejemplo exquisito del cascarón delgado aplicado a grandes claros.

Con la experiencia de más de quince años construyendo cascarones de distintas formas, se pudo definir la luz máxima que puede cubrirse, de manera sensata, con un cascarón de hormigón armado. Este límite estaba en torno a los 30 m. Para mayores luces aumentaba el costo del encofrado y del volumen interno, así como el peligro de pandeo al tener que disminuir la curvatura. Los cálculos se volvían más largos y dificultosos, pues no se podían despreciar las deformaciones, y los cálculos de esfuerzos de membrana no eran, por tanto, de fiar. Prefería utilizar estructuras convencionales para cubiertas mayores y utilizar los cascarones como elementos secundarios que rellenarán los espacios entre la trama principal.

Dieste (1917)

Hacia mediados del siglo XX nos encontramos con la figura de Eladio Dieste que ha legado a la industria de la construcción un nuevo material, la cerámica armada, invención que se vio alentada por un hecho fortuito: el asesoramiento al arquitecto español Antonio Bonet para la definición estructural de una vivienda realizada hacia 1946 en el balneario uruguayo de Portezuelo, y que se basó en un fundamento sencillo: la factibilidad y conveniencia de amalgamar el ladrillo, el mortero y el hierro para hacerlos trabajar en forma solidaria. Toda su obra está vinculada al uso de este material, especialmente adecuado para estructuras laminares que necesitan particulares cualidades de rigidez y peso. Pero es la forma la que confiere al material su capacidad para resistir y cómo hacerlo. Como características destacables dentro de su obra nos encontramos con las bóvedas gausas y las bóvedas autoportantes.

La bóveda gausa se obtiene desplazando una curva catenaria de cuerda fija y flecha variable, contenida en un plano vertical móvil que se traslada, manteniéndose paralelo a otro plano vertical fijo, de modo que los arranques de estas catenarias recorran dos rectas paralelas entre sí, en general contenidas en un mismo plano horizontal.

Partiendo de esta forma básica puede obtenerse otro tipo de superficie gausa, cuando se desea iluminación convenientemente orientada. El resultado es una cubierta parecida a los conoides en diente de sierra, pero con posibilidades, en cuanto a las luces que se pueden salvar, que no se alcanzan económicamente con los conoides corrientes de hormigón armado.

La forma de techo descrita es conveniente por la economía de materiales que permite, pero tendría grandes dificultades constructivas si se hiciera con las técnicas usuales del hormigón armado, que obligarían a un encofrado total o a un molde móvil de dimensiones importantes que permitiera la forma de trabajo y los plazos de desencofrado propios de esta manera de construir. Estas dificultades desaparecen si se construye la cubierta con ladrillos del modo siguiente: se dispone de un molde cuya forma fuera la ya descrita y que se hubiera construido una estructura resistente capaz de soportar los esfuerzos que haya de transmitirle la bóveda. Llenando este molde con dovelas perfectamente talladas y que estas dovelas estén vinculadas longitudinalmente, de manera que la lámina de doble curvatura pueda actuar como una unidad. Si las dovelas tuvieran la necesaria resistencia a la compresión, si la lámina como conjunto no pandeara y si la estructura de sostén resistiera los esfuerzos que le transmite la bóveda, se puede retirar el molde inmediatamente después de haberlo llenado.

Las características principales de las bóvedas gausas se pueden resumir en que el complejo ladrillo-mortero-hierro se comporta como una unidad estructuralmente viable y puesto que se elige como directriz la curva catenaria, el peso produce compresión simple, y esta compresión hace capaz a la estructura de resistir flexiones. Además las tensiones de compresión debidas al peso propio son independientes de la sección, ya que la fuerza directa es proporcional al peso por unidad de desarrollo, o sea, a la sección y la armadura mínima asegura que una importante longitud de la cáscara (ampliamente suficiente para asegurar tensiones admisibles con hipótesis sencillas de cálculo) reacciona como una unidad elástica frente a las cargas concentradas. Teniendo en cuenta que el único material a endurecer es el de las juntas y que el «tirado» de la mezcla hace que el mortero tome rápidamente una resistencia que, aún siendo pequeña, puede ser suficiente, para descimbrar la bóveda, no es necesario esperar el endurecimiento normal del mortero.

Si se quiere aumentar las luces a salvar, lo que acabamos de decir nos muestra que el problema no está en las tensiones debidas al peso propio; está en las flexiones y en el riesgo de pandeo. El aspecto analítico de este problema no es simple, pero es obvio que para hacer frente al pandeo y a las flexiones conviene aumentar la rigidez de la cáscara. Lo corriente es (o era) disponer arcos de rigidez por arriba o por debajo de la bóveda, lo que no es una buena solución porque crea discontinuidades bruscas de sección que afectan inconvenientemente el régimen elástico de la membrana, complican el molde y el proceso de desencofrado si se disponen en el intradós, y si lo hacen en el extradós, son fuente de fisuras entre los dos elementos, lámina y arco, de espesores tan diferentes. Es mejor ondular la bóveda longitudinalmente, con lo que se aumenta su rigidez sin aumentar más que levemente su desarrollo y su peso, sin crear discontinuidades en la sección transversal.

Pero la ondulación constante en todo el desarrollo transversal no resuelve bien el problema porque obliga a apoyar la bóveda sobre elementos resistentes de un ancho igual a la amplitud de la onda más el espesor de la bóveda, que son antieconómicos y pesados, o a complicados sistemas de descarga de los esfuerzos.

Dieste resuelve estas dificultades haciendo variable la amplitud de la onda de la bóveda desde un máximo en la clave a cero contra los elementos resistentes de borde, que pueden entonces hacerse económicamente, de un espesor tan pequeño como el de la bóveda misma.

En cuanto a las bóvedas autoportantes es posible hacerlas de cerámica armada, con encofrado móvil, usando técnicas que tienen parentesco con las ya descritas hasta ahora.

Supongamos que se tienen un conjunto de bóvedas cilíndricas como cubierta de un local y siendo éstas de directriz la curva catenaria. Se construyen una serie de moldes, uno por bóveda, de pequeña longitud, que pueden correrse a lo largo de caminos paralelos a las generatrices. Las luces importantes son aquí las que se tienen según estas generatrices, las transversales son modestas. Los moldes son entonces livianos y baratos y su manejo sencillo y económico. Se construyen las bóvedas dejando en las juntas, entre los ladrillos, la armadura necesaria para que puedan trabajar cuando haya endurecido totalmente el mortero, como autoportantes, y los anclajes para los cables de postensionado si los hay. Como al desencofrar el mortero de las juntas está fresco, puede retocarse muy fácilmente, lo que da un acabado muy bueno. En los valles los empujes de las bóvedas se neutralizan y dan sólo una carga vertical que es resistida por el apuntalamiento que, dada la liviandad de la estruc-

tura, es muy económico. Para las bóvedas extremas las vigas horizontales previamente construidas resisten los empujes, siendo aquí también tomada la carga vertical por el apuntalamiento previamente dispuesto.

Cuando se acaba de construir la parte cerámica de las bóvedas, se termina con un enlucido de arena y cemento en el que se deja embebida una fina malla electrosoldada para control de las fisuras de retracción, la eventual armadura adicional para el cortante y aquélla en la que se anclan los extremos de los cables de precomprimido, si los hay. Basta esperar a que haya terminado el fraguado (realizada la postensión si las bóvedas son postensionadas) para poder retirar el apuntalamiento de los valles y de las vigas extremas, quedando la estructura trabajando como bóveda autoportante que se ha construido con un molde muy barato, ya que es una parte muy pequeña de la superficie a techar.

Entre sus obras principales destacamos como cáscaras de doble curvatura la Iglesia de Atlántida en Uruguay y el Mercado de Maceio en Brasil. Como cáscaras autoportantes el Gimnasio de Maldonado en Uruguay y las bóvedas de la Agroindustria Domingo Massaro S.A. de 10.000 metros cuadrados, 33 metros de luz y volados de hasta 16,40 metros. En cuanto a estructuras plegadas destacamos la Iglesia de Durazno cuyos plegados son interdependientes de gran luz.

Así concluimos nuestro paseo matemático por la historia de la construcción, donde hemos ido observando las bóvedas, cubiertas o cascarones como formas geométricas que han ido evolucionando con las aportaciones de las distintas técnicas matemáticas.

BIBLIOGRAFÍA

Alsina, C; Trillas, E.: *Lecciones de Álgebra y Geometría.* Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona,1984.

Antonio Gaudí (1852-1926). Catálogo. Ed. Fundación Caja de Pensiones. Barcelona, 1989.

Candela, F: *En defensa del formalismo y otros escritos.* Xarait Ediciones. Bilbao, 1985.

Collette, J.P.: *Historia de las Matemáticas* (Tomos I y II). Ed. Siglo veintiuno. Madrid,1985.

Eladio Dieste (1943-1996). Catálogo. Ed. Junta de Andalucía. Sevilla, 1998.

Escrig, F.: *Las grandes estructuras de los edificios históricos: desde la antigüedad hasta el gótico.* Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Sevilla, 1997.

Martín Casalderrey, F.: *Cardano y Tartaglia. Las matemáticas en el Renacimiento italiano.* Ed. Nivola. Madrid, 2000.

Ruiz de la Rosa, J.A.: *Traza y simetría de la Arquitectura en la Antigüedad y Medievo.* Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1987.

Ruiz de la Rosa, J.A.: *Libro de Arquitectura de Hernán Ruiz.* Fundación Sevillana de Electricidad. Sevilla, 1998.

Torrija Herrera, R.: *Arquímides. Alrededor del círculo.* Ed. Nivola. Madrid, 1999.

Las cisternas depuradoras romanas en Fermo (Italia)

Sergio Colangeli

El territorio, la historia y la ciudad

La región italiana de Las Marcas es donde se encuentra la ciudad de Fermo, lugar en el que está ubicado el objeto de esta investigación; desde el punto de vista geográfico se caracteriza por una faja costera llana y por una zona interior, primero de colina y luego de montaña, surcada por ríos que bajan de los Montes Apeninos hacia el Mar Adriático.[1]

Esta zona del centro de Italia, como recuerda la historiografía clásica, ha estado dispuesta siempre a acoger personas y culturas distintas, provenientes también de la otra costa adriática.

Plinio nos brinda informaciones históricas sobre el pasado de los «picenos»,[2] así se denominaba el pueblo de estas tierras, cuyo desarrollo más elevado de civilización se señala a partir del siglo VIII a. C.

En el 264 a. C., los romanos fundaron en Fermo la colonia *Firmum Picenum* para acoger una fortaleza estratégica con el fin de controlar las instancias autonómicas y las iniciativas militares de los *picenos*.[3]

Comenzó así aquella política de «romanización» que verá en Fermo el punto de apoyo de Roma en esta región; en efecto, la ciudad surgida sobre una colina entre los valles del río Tenna y del río Ete, que contaba con una desembocadura al mar, se volverá una fuerte realidad institucional, sobre todo a partir del año 90 a. C., cuando sus habitantes obtuvieron la plena ciudadanía romana. Éste es el período de mayor gloria para Fermo, la ciudad se expande y enriquece con obras públicas que la preparan para el nuevo papel que había asumido.

El centro habitado fue sometido así a una reestructuración radical, actuada a través de ampliaciones y disposición en terrazas, contenidas en poderosas obras de construcción en ladrillo, que tenían la función de resolver el excesivo declive de la colina.

Se nota la importancia fundamental del ejemplo de realizaciones monumentales semejantes realizadas por Augusto en Roma y en otras ciudades de Italia, consideradas por lo general como modelo para otros centros;[4] un papel emblemático adquiere así el teatro, cuyas ruinas son visibles aún, así como el *Forum* y los acueductos. Una red de galerías subterráneas, en efecto, regulaba el flujo de las aguas, dirigiéndolas hacia cisternas monumentales.[5]

Hipótesis sobre la fecha de construcción de las cisternas

Ante la falta de datos de excavaciones, la cronología del edificio se puede proponer sólo sobre consideraciones de orden histórico y técnico-constructivas; en efecto, no es posible saber si las fístolas plúmbeas de las Cisternas tenían inscripciones, porque se han perdido; de otro modo de dichas inscripciones se hubiera podido obtener noticias útiles sobre la fecha de construcción de la obra y probablemente también sobre su arquitecto.

Se podría asegurar que la construcción de las Cisternas de Fermo se debe al emperador Augusto, que

logró su realización en los últimos decenios de su vida, entre el 40 y 60 d. C.; en efecto las notables dimensiones de los ladrillos usados, 45×30×7 cm, su color, rojo cinabrio, su óptima calidad, el pequeño espesor de las mezclas en los empalmes de los ladrillos, 10-15 mm, y la técnica avanzada de la bóvedas dejan suponer como casi cierta esta datación.[6]

Ulteriores indicios sobre la datación derivan del método para el abastecimiento de las aguas manantiales, en conformidad con las prescripciones de Vitruvio, el cual era precisamente el arquitecto del emperador Augusto,[7] y se ha formulado la hipótesis de que había sido el mismo Vitruvio el autor de las Cisternas de Fermo.[8]

Las cisternas depuradoras

La documentación presentada indica que, en ciudades del centro de Italia, en la época romana se había programado una imponente actividad edilicia finalizada a la realización de estructuras destinadas al abastecimiento hídrico, proyectos puestos en obra en edad augustea para adecuar los centros habitados a las mayores exigencias enlazadas con los fenómenos de urbanización y, como en el caso de la ciudad de Fermo, también para abastecer la flota naval, anclada en el puerto vecino, y a las legiones militares.

En Italia surgieron sólo otras dos obras de dimensiones semejantes: la *Piscina Mirabile* en Baia, y el Tanque de Chieti; las Cisternas de Fermo se colocan por capacidad de cuenca sólo después de las de Baia, pero también por importancia, considerando el excelente estado de conservación que ha consentido una parcial utilización como depósito de agua, hasta hace algunos años.

El conjunto arquitectónico, denominado comúnmente *Piscinas*, pero que en realidad es un depósito de agua potable, es una verdadera obra de arte de técnica constructiva; se encuentra debajo de la actual Vía Paccarone (figura 1) y su área es de 69×32,20 m equivalentes a 2.222 m^2, con una cubicación bruta de 15.000 m^3 aproximadamente (figura 2).

Los muros externos o perimétricos tienen un espesor de 1,65 m y son de calcina, el denominado *opus caementicium*;[9] su interior está subdividido por muros ortogonales construidos empleando la técnica de *opus testaceum*,[10] denominada también *en saco*, con espesor de 0,75 m, estos muros subdividen el espacio interno en 30 tanques comunicantes, de planta rectangular, dispuestos en tres hileras, cada una de

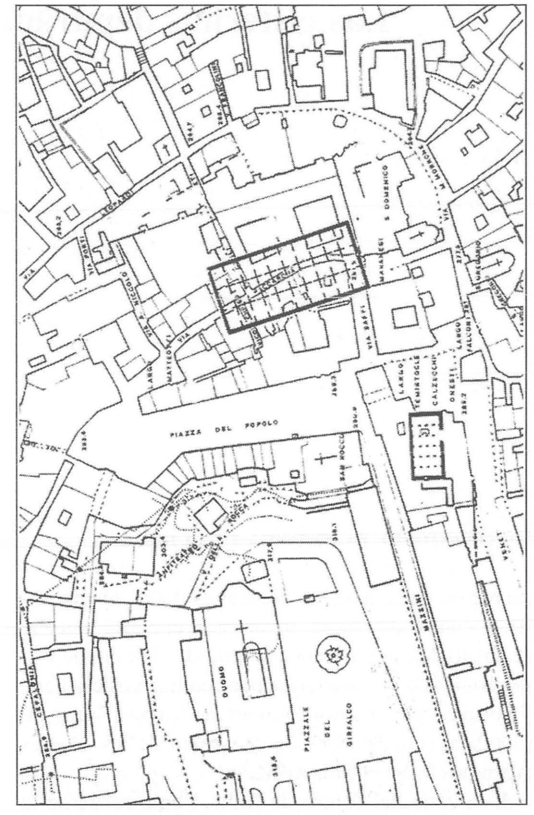
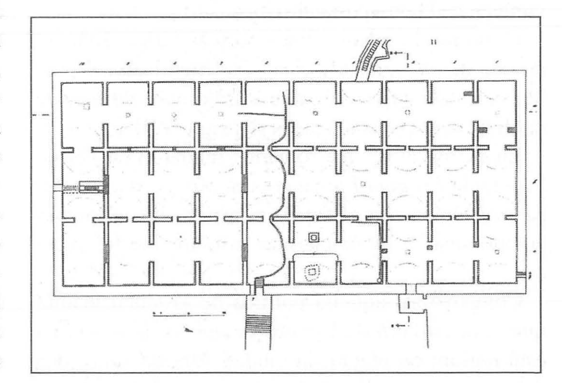


Figura 1


Figura 2

9,20 m de largo, 5,90 de ancho y de 6,00 m de altura en su cumbre.

Los tanques comunicaban entre sí a través de aberturas de tres tipos: el primer tipo, está constituido por aberturas de 2,40 m de ancho, 2,50 m de alto, que tienen encima arcos de medio punto, realizados empleando piezas de ladrillo de 43 cm de largo y con espesor variable entre el intradós y el extradós del arco; el segundo tipo, está constituido por aberturas de 1,00 de ancho, 2,50 m de alto, con encima arcos rebajados en ladrillos parecidos a los precedentes; por último el tercer tipo, está constituido por pequeñas aberturas de 35 cm de ancho, 45 de alto, con aberturas a dos aguas (figura 3). La dislocación de las aberturas consentía el flujo de las aguas contenidas en la cisterna en el sentido de los ejes mayores o menores, con una inclinación del 1% en dirección noreste, hacia los tubos de distribución[11] (figuras 4-5).

Las bóvedas de cañón, de cobertura de los tanques, son de calcina 'puzolana',[12] echada en estratos encima de la estructura de tablas, de las que permanece aún la huella; en ellas se dejaron aberturas, o

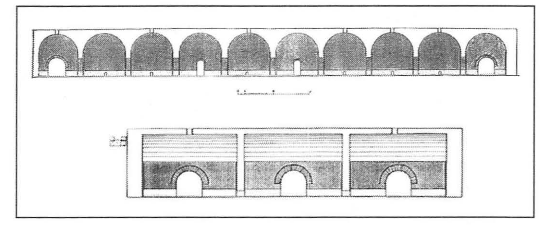


Figura 3

claraboyas, cuya forma se alternaba entre la cuadrada y la circular; las primeras con un lado de 60 cm, y las segundas con 30 cm de radio. Casi todas las aberturas o claraboyas están en el centro de las bóvedas, y tenían función de inspección, naturalmente en el exterior estas estaban protegidas por pequeñas protec-

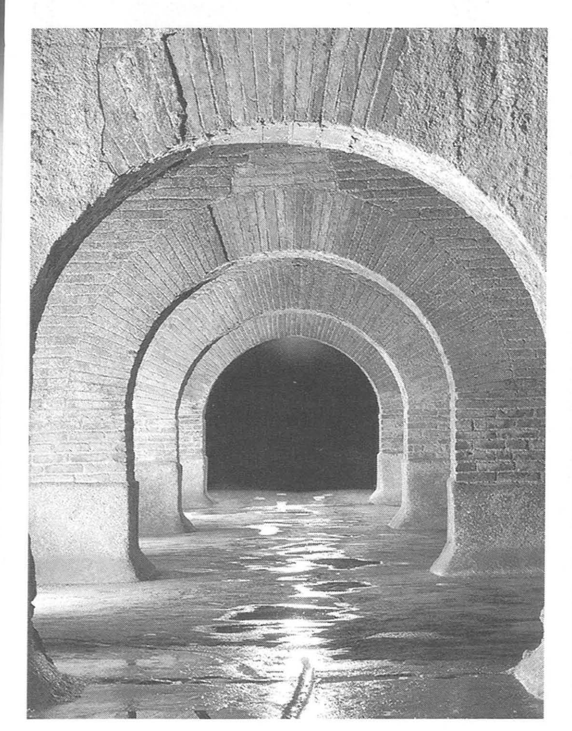


Figura 4

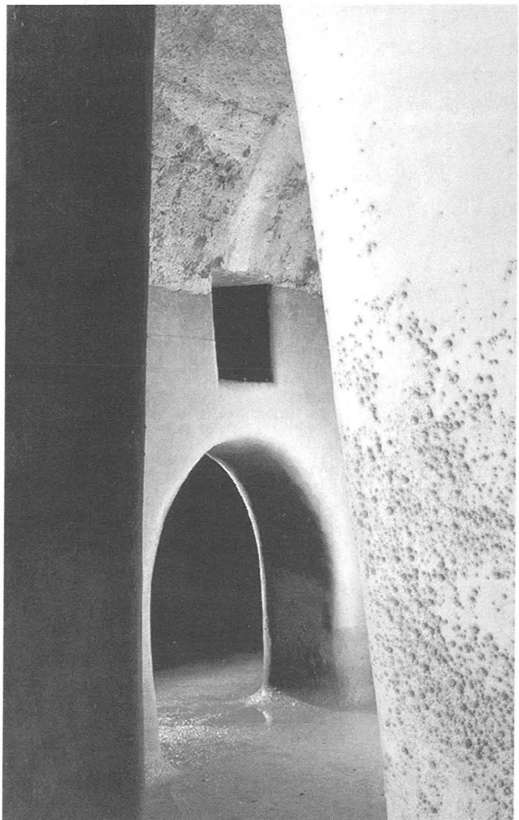


Figura 5

ciones o rejillas espesas de metal cerradas con escotillones (figura 6).

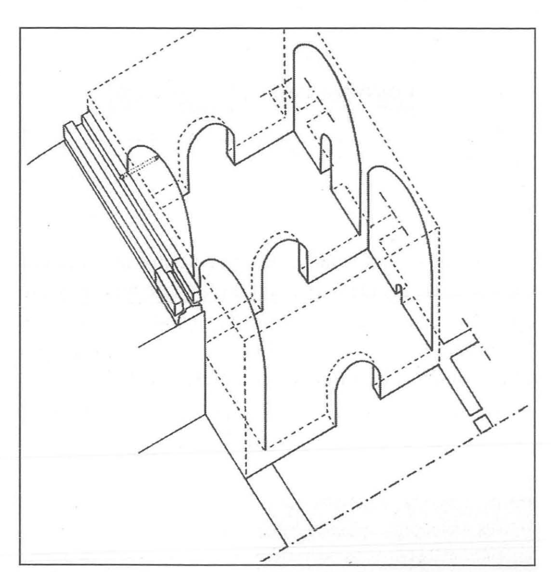


Figura 6

Los ladrillos de los paramentos son rojos, porque están hechos de arcilla rica en óxido de hierro, bien cocidos y de gran dureza; por lo general tienen dimensiones de 45×30×7 cm. La *opus signinum*[13] se empleó abundantemente para enlucir todos los muros perimétricos, para impermeabilizar los cantones formados por los muros divisorios con las paredes perimétricas, para hacer zócalos que alcanzaban una altura de 75 cm, y finalmente para nivelar y acabar la pavimentación realizada en calcina; en efecto la Cisterna se apoya en un robusto plano de *opus caementicium* en obra de cemento con espesor no mensurable y el pavimento es en conglomerado de mezcla de cemento con superficie bastante levigada, en algunos espacios en el pavimento hay una canaleta para la limpieza del mismo del limo que se depositaba.

Encima de los muros perimétricos y correspondiendo con los ejes de los tanques hay pequeños canales en mampostería con sección rectangular de 22×25 cm (figura 7) estos servían para la entrada de las aguas en los tanques puestos debajo, los cuales a su vez recibían el agua de un conducto en mampostería de sección cuadrangular sobre el vértice de la pared externa en los muros perimétricos.[14]

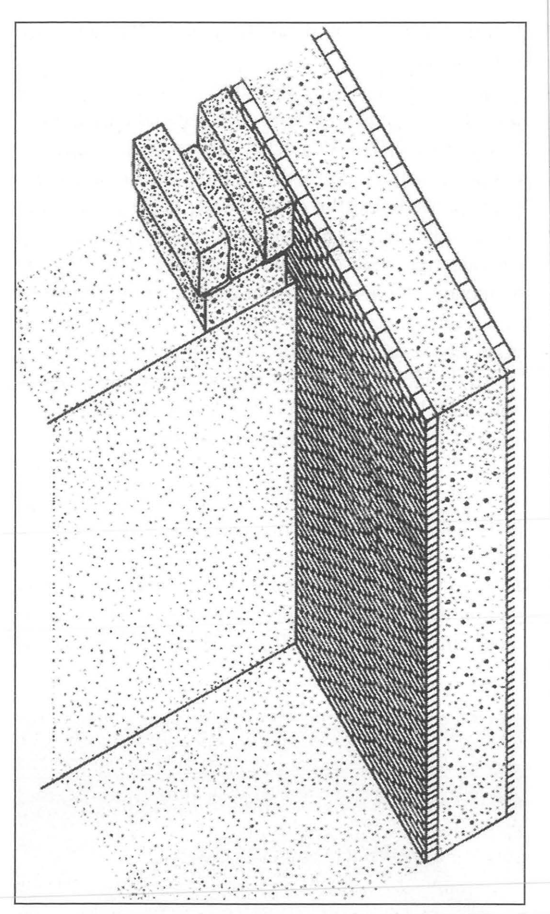


Figura 7

En la mitad del lado meridional, exactamente en el medio del tanque mediano, se construyó una escalera para el acceso a las Cisternas; es evidente, por la quiebra que se nota en el muro meridional, que la escalera se realizó en un segundo momento, casi ciertamente en la época del emperador Antonino Pío, en época posterior a la mitad del siglo I d. C., como hace pensar un sello de un ladrillo encontrado en los trabajos de reestructuración y la calidad de los ladrillos de color gris claro y de espesor inferior al de los paramentos de los tanques;[15] en los años precedentes, se podía acceder a la construcción a través de una apertura equipada con grapas de hierro horizontales como una escalera, situada cerca de la esquina noreste del último tanque de la nave oriental.

A mediados del siglo XIX De Minicis[16] piensa que sobre los tanques habían otros de las mismas formas y dimensiones; sin embargo está seguro de que encima de las bóvedas de las Cisternas, una vez reforzados en el costado, se había construido una terraza o solado de cobertura, cuya existencia está probada por algunas lastras rectangulares o cuadradas, de piedra calcárea y sobre todo por algunos escotillones con doble batiente para sujetar las trampas, que se encontraron durante el vaciado de los tanques.[17]

La terraza en su origen estaba en el mismo plano del terreno de alrededor o lo superaba muy poco, mientras que ahora sus restos están a 1,20 m debajo del plano medio del terreno, debido a la acumulación, durante los siglos, de escombros y al deslizamiento de la tierra de la colina que está arriba. Con mucha probabilidad dicha terraza estaba aislada y recintada con un murito bajo o con una cerca de verja para impedir el libre acceso, dadas las severas disposiciones de ley en tutela de los acueductos y en particular de los tanques y cisternas.[18]

Es seguro que los treinta tanques servían para almacenar, en especial en los períodos de sequía o de sitio bélico, las aguas potables que corren abundantemente en los estratos arenosos de la colina de la ciudad Fermo; en efecto, durante la campaña de excavaciones arqueológicas de 1934 emergieron diversos pozos[19] de época romana, conectados entre ellos a través de galerías que abastecían el agua a la cisterna.[20]

Se supone lógicamente, en conformidad con las prescripciones de Vitruvio,[21] que entre los pozos de captación de aguas y las Cisternas había algún tanque de estanque, que servía no sólo para mejorar la calidad de las aguas depurándolas de eventuales impurezas, sobre todo en los períodos de lluvias prolongadas y del derretimiento de la nieve, sino también para interrumpir la violencia del flujo, que desde la colina bajaba hacia las mismas Cisternas.

Las aguas entraban en los tanques con un salto de 6 m, o resbalaban por las paredes, sobre las que se ven numerosas concreciones calcáreas, sucesivamente a través de las grandes aberturas en arco de los muros divisorios, y se distribuían entre los varios tanques. La masa de agua generalmente no alcanzaba el metro de altura, correspondiendo con los zócalos, pero podía subir hasta la imposta de las bóvedas de cobertura a 3 m.

La aireación de las aguas se garantizaba por medio de numerosas aberturas o trampas en las bóvedas, mientras que las aguas caían desde lo alto de los orificios las agitaban y facilitaban, junto con las presas de distribución, su renovación continua.

Estado de conservación

Las Cisternas representaron para Fermo, en el curso de los siglos, una gran reserva hídrica pública, privada y militar, hasta cuando se afirmó el cristianismo. Con el emperador Constantino, en el 313 d. C., comenzó la fase de parcial abandono de las Cisternas; pero sobre todo después de los decretos de los emperadores Graciano, en el 382, y Teodosio, en el 391, contra los cultos paganos y sus bienes, que causaron la destrucción de obras aunque fueran de valor artístico; por lo tanto diversas esculturas presentes en la ciudad fueron saqueadas, quitadas de su sede arrojadas con desprecio al fondo de los tanques; hasta esta época se considera regular e higiénico sólo el uso de la parte exterior de las Cisternas.

En el período de las incursiones de los bárbaros, como todas las obras monumentales, también las Cisternas cayeron en un abandono desolador.

A partir de los comienzos del medievo, sin embargo, fueron usadas y maltratadas por los propietarios de las casas, palacios y conventos de alrededor, además según la tradición, durante la Inquisición algún espacio sirvió como cárcel.

Con el uso de los tanques de parte de privados, muchas bóvedas de cobertura fueron despedazadas y parcialmente demolidas para bajar desde lo alto con escaleras de madera.

En el siglo XIX, la cisterna fue vaciada en parte de los detritos, restaurada y reutilizada a partir de la segunda mitad del siglo, como tanque de l'acueducto de Fermo.[22]

Las Cisternas de Fermo han sido objeto de 1964 a 1969 de diversas campañas de restauración, que las han llevado al estado actual, devolviendo a la ciudad un patrimonio arquitectónico inestimable.

Un daño mayor a la monumental construcción romana ha sido causado, en el cantón noreste, por las infiltraciones de agua, que durante siglos han corroído y rebajado el estrato arenoso sobre el que se apoya el edificio, causando un aflojamiento del plano de pavimentación, con consiguiente inclinación hacia el exterior de los muros maestros y una rasgadura en las bóvedas de los últimos dos tanques. Estas graves le-

siones no han podido ser reparadas, sólo se ha logrado impedir la ulterior infiltración del agua pluvial.[23]

Si por un lado las distintas grietas, visibles en los muros perimétricos y en las bóvedas, testimonian las dolorosas vicisitudes que han sufrido las Cisternas, y si por otro, éstas soportan bien desde hace muchos siglos la gravísima carga de todo un barrio que se le ha construido encima, se debe concluir con seguridad que la técnica constructiva, la calidad del material edilicio y el cálculo de las resistencias son superiores a cualquier elogio y hacen de las Cisternas de Fermo una grandiosa realización arquitectónica, la cual une a una gran solidez una austera belleza y una incomparable utilidad pública.

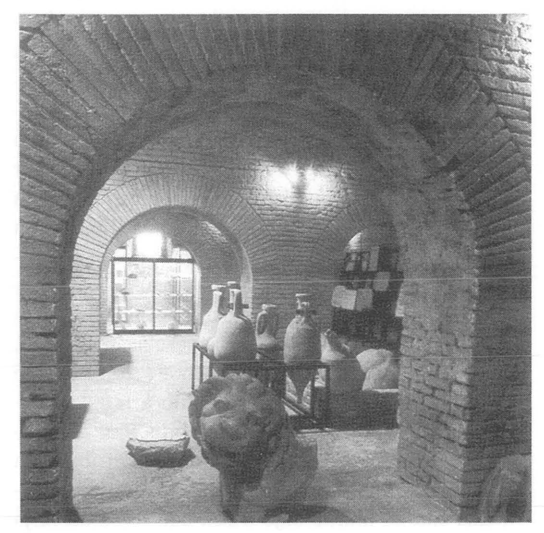


Figura 9

Las cisternas «pequeñas»

De época contemporànea a la Cisternas examinadas en el párrafo precedente, las denominadas Cisternas *pequeñas*, fueron construidas en la vertiente sur de la colina de la ciudad (figura1),en el interior de un banqueo sobre el cual en el siglo XVI se construyó el actual Palacio Apostólico.

El interior es de planta rectangular y mide 28× 12,60 m (figura 8), los muros perimètricos construidos con la técnica de *opus caementicium*, tienen un espesor variable entre 1,20 y 1,50 m, y se pueden observar en la secciòn de la pared Este, en la cual se han abierto una puerta y una ventana. El mismo se subdivide en seis sectores rectangulares cubiertos con bóvedas de cañón de altura de 4,75 m, con cinco paredes, ortogonales en los lados largos, en *opus testaceum,* en cada una de las cuales se abren cuatro arcos de medio punto, de 3 m de altura (figuras 9 y 10). Los muros perimétricos tienen el paramento en

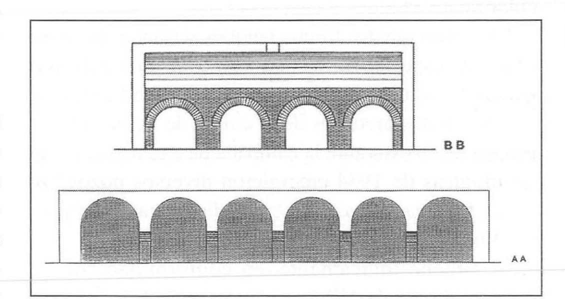


Figura 10

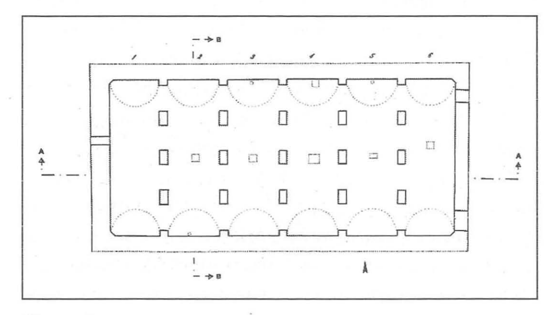


Figura 8

ladrillo hasta la cumbre de las bóvedas. Éstas han sido realizadas en obra de cemento a vista, colocada sobre cimbras de madera cuyas huellas son visibles aún; además en ella se abren, sobre todo en la zona central, pozuelos de inspección en sección cuadrangular revestidos en ladrillo. En el interior no se notan huellas de *opus signinum*, que verosimilmente se quitò en el curso de los trabajos de restauración del conjunto, que en curso de la década de 1950 habían alterado los espacios originales, levantando nuevos muros divisorios y cerrando algunos arcos.

La Cisterna se apoya sobre una platea en obra de cemento; el pavimento, en conglomerado de mezcla y piedras de pequeñas dimensiones, con superficie poco levigada, ha sufrido numerosas encentaduras y

obras de restauración, todavía se ven las huellas de los canaletes para la limpieza, alterados por los mencionados trabajos. El agua se hacìa entrar en las cámaras a través de orificios abiertos en varios puntos de las paredes longitudinales, en proximidad de los dinteles de las bóvedas; pero faltan las huellas de uno o más conductos, que podrían haber sido quitados en la realización del acceso en la pared perimétrica Este, en todo caso el agua podìa ser recogida a través de pozuelas de cobertura.

De todo modos, las características estructurales y las técnicas edilicias adoptadas en este conjunto, son semejantes a las que hemos visto en la cisterna precedente. Es por tal motivo que inducen a establecer su datación en la primera edad imperial, si no entre la edad republicana tardía y el período de Augusto.

El edificio, utilizado en 1957 para hospedar la colección arqueológica del Ayuntamiento, ha sido restaurado en la década de 1960, y entre 1971 y 1977. A partir del 9 de agosto 1977 es sede del Museo Arqueológico de Fermo.

NOTAS

1. Virgili, A., Cacciamani, R.: «Itinerari archeologici dall'etá del ferro alla fine dell'impero romano», *Guide al Piceno La Storia, Maroni, Capodarco di Fermo*, 1992, p. 11.
2. Plinio: *Naturalis Historia* III, 13, 110.
3. Lollini, D.G.: «La civiltá Picena» *Popoli e civiltá dell'Italia antica*, vol. IV, Roma, 1977.
4. Gros, P., Torelli, M.: *Storia dell'urbanistica. Il mondo romano*. Roma-Bari, 1988.
5. Quiri, P.: «Acquedotti e cisterne di etá romana nelle Marche», en AA.VV.: *L'acquedotto romano di Pesaro*. Pesaro, 1990, pp. 6-7.
6. Lugli, G.: *La tecnica edilizia romana*. Roma 1957, VOL. I, p. 585.
7. Vitruvio: *De Arquitectura*. VIII, 1.
8. El prof. Pompilio Bonvicini, arqueólogo, formula esta hipótesis puesto que Vitruvio, habiendo construido en Fano, ciudad de la costa al norte de Fermo, la Basílica augustea, comprobando la existencia de caracteres tipológicos, técnicos y formales iguales, no excluye esta posibilidad. Bonvicini, P.: *Le Cisterne Romane di Fermo*. Ed. Gaposa. Fermo, 1989, p. 19.
9. Este tipo de calcina estaba formado por estratos de piedras y losas quebradas, que llamaban *caementa*, por dos partes de cal de óptima calidad, y cinco partes de arena vidriosa. Koening, G. K.:»La architettura romana. Tipi edilizi e metodi costruttivi», en Tecnologia delle costruzioni, vol. 2 Ed. Le Monnier. Firenze, 1985, p. 7-9.
10. Técnica edilicia usada a partir del siglo I a. C., que consistía en cubrir la calcina con ladrillos. Ibidem.
11. Pasquinucci, M.: *Firmum Picenum*. Pisa 1988, p. 218.
12. Compuesto de calcina, puzolana y piedras quebradas. Koening, G.K.: «L'architettura romana...» ob. cit., p. 9.
13. Compuesto de calcina, arena y ladrillo quebrado. Ibidem.
14. Es mérito de la profesora M. Pasquinucci el haber señalado y descrito el complejo sistema de alimentación hídrica de las Cisternas; cfr. AA.VV.: *Firmum Picenum*, ob. cit. p. 230, figuras 77, 94 y 95.
15. Bonvicini, P.: *Le Cisterne Romane di Fermo*. ob. cit., p. 12.
16. De Minicis, G.: *Intorno alla Piscina Epuratoria in Fermo*. Roma, 1846, pp. 6, 10 y 21.
17. Bonvicini, P.: *Le Cisterne Romane di Fermo*, ob. cit., p. 20.
18. Frontino recuerda que toda obra se debía hacer a no menos de 1,50. Frontino: *De Aquaeductis urbis Romae*, 12.
19. Los mencionados pozos siguen las reglas dictadas por Vitruvio, para la búsqueda de la vena de agua, sobre la metodología para excavar el pozo y sobre cómo encaminar las aguas a través de galerías hacia cisternas. Vitruvio: *De Arquitectura*. VIII, 1.
20. Bonvicini, P.: *Le Cisterne Romane*... ob. cit., p. 14.
21. Vitruvio: *De Arquitectura*. VIII, 7.
22. El proyecto de utilización fue elaborado pro G. B. Carducci: Biblioteca Comunale, Fermo, Fondo Carducci. De las actas resulta que la cisterna servía a la población de Fermo en 1884 para abastecerse de agua.
23. Bonvicini, P.: *Le Cisterne Romane*... ob. cit., p. 2.

BIBLIOGRAFÍA

AA.VV.: *La civiltá picena nelle Marche*. Ripatransone, 1992.

Annibaldi, G.: «L'architettura dell'antichitá nelle Marche» en *Atti XI Congresso Storia dell'Architettura-Marche*. Roma, 1965.

Bodon, G., Riera, I. Zanovello, P.: *Utilitas necessaria. Sistemi idraulici nell'Italia romana*. Milano, 1994.

Bonvicini, P.: *Le Cisterne Romane di Fermo*. Ed. Gaposa. Fermo, 1989.

De Minicis, G.: *Intorno alla Piscina Epuratoria in Fermo*. Roma, 1846.

Frontino: *De Aquaeductis urbis Romae*, 12.

Gros, P., Torelli, M.: *Storia dell'urbanistica. Il mondo romano*. Roma-Bari, 1988.

Koening, G. K.: «L'architettura romana. Tipi edilizi e metodi costruttivi», in *Tecnologia delle costruzioni*, vol 2. Ed. Le Monnier. Firenze, 1985.

Lollini, D.G.: «La civiltá Picena», *Popoli e civiltá dell'Italia antica*, vol. IV, Roma, 1977.
Lugli, G.: *La tecnica edilizia romana*. Roma 1957, vol. I.
Luni, M.: «Cisterne e acquedotti di Urvinum Mataurense» en *L'acquedotto romano di Pesaro*. Pesaro, 1989.
Luni, M.: *Scavi e ricerche nelle Marche*. urbino, 1991.
Pasquinucci, M.: *Firmum Picenum*. Pisa, 1988.
Plinio: *Naturalis Historia* III, 13, 110.
Quiri, P.: «Acquedotti e cisterne di etá romana nelle Marche», en AA.VV.: *L'acquedotto romano di Pesaro*. Pesaro, 1990.
Sommella, P.: *Italia antica. L'urbanistica romana*. Roma, 1988.
Virgili, A., Cacciamani, R.: «Itinerari archeologici dall'etá del ferro alla fine dell'impero romano», *Guide al Piceno La Storia,* Maroni, Capodarco di Fermo, 1992.
Vitruvio: *De Arquitectura*. VIII.

Ars o τεχνωμ: considerazioni critiche sulle tecniche di consolidamento tradizionali dell'architettura

Massimo Corradi

Introduzione

L'insegnamento che la Storia della Scienza e della Tecnica del costruire[1] ha direttamente o indirettamente dispensato nei secoli, e dispensa tutt'oggi attraverso il considerevole patrimonio architettonico tramandatoci, ha sempre più messo in evidenza la sua caratteristica di strumento indispensabile per operare scelte consapevoli negli interventi di consolidamento statico degli edifici storici.[2] Abbiamo già più volte sottolineato[3] come l'attento esame degli sviluppi storici dei 'saperi' legati al mondo della costruzione ha sollevato questioni, indicato soluzioni e dato luogo ad un intenso e vivace dibattito tra gli addetti ai lavori sui metodi e sugli strumenti necessari per operare con adeguata coscienza negli interventi di consolidamento. È oramai opinione diffusa fra gli studiosi delle discipline scientifico-tecniche che, per orientare le scelte progettuali e quelle tecniche negli interventi di restauro statico, sia opportuno prendere in considerazione il considerevole patrimonio di conoscenze e saperi costruttivi propri dell'*art du batîr*. La riscoperta degli antichi magisteri, fondati sovente più sull'esperienza e sulla sperimentazione diretta del costruire che sulla conoscenza scientifica e tecnica di particolari metodi di analisi e strumenti di calcolo, diventa dunque indispensabile quando ci troviamo di fronte a quel complesso e variegato insieme d'interventi che riguardano il restauro del patrimonio architettonico e monumentale.

In questo senso, scopo della presente nota è proporre all'attenzione degli addetti ai lavori un breve compendio delle tecniche di consolidamento statico tradizionali. L'intento è quello presentare metodologie d'intervento compatibili con la costruzione e con l'obiettivo di recuperare quella continuità storica che è andata lentamente perdendosi, soprattutto in questi ultimi anni, a causa degli indirizzi intrapresi dalla ricerca scientifica sempre più orientati agli sviluppi di tecniche innovative, spesso, tuttavia, estranee ai caratteri costruttivi e tipologici dell'architettura stessa. Il carattere politecnico del progetto di consolidamento diventa allora attuabile se si può assegnare alla struttura il giusto ruolo che le compete nella costruzione, superando così la dicotomia tra cultura tecnica e cultura umanistica, tra «Ars» e «τεχνη», in modo tale che l'intervento di consolidamento non debba essere visto solo come strumento di conservazione dell'immagine e della materia, ma anche come momento di attribuzione di dignità materiale e statica alla struttura originaria.

La conoscenza e la riscoperta delle tecniche costruttive impiegate fino agli anni trenta del XX secolo —fino a quando, l'impiego massiccio del cemento armato e dei materiali metallici ha, di fatto, interrotto una prassi consolidata da molti secoli— ha messo in evidenza una profonda cesura tra costruzione e saperi costruttivi. Di conseguenza è venuto sempre più prepotentemente alla ribalta, in tutta la sua invadente presenza, il lato meccanicistico delle procedure di analisi, di calcolo e d'impiego dei nuovi materiali (soprattutto l'acciaio e il c.a.) e delle nuove strutture negli interventi di consolidamento, accentuando sem-

pre più quella dicotomia della quale abbiamo fatto cenno. Ciò ha prodotto un impoverimento delle conoscenze costruttive producendo, di fatto, innumerevoli danni al nostro patrimonio edilizio, danni che, in generale, non sono sempre rimediabili. Il patrimonio di conoscenze statiche e tecnologiche che era tramandato dai maestri fabbricieri, dalla trattatistica architettonica e dalla manualistica tecnica, fino ai primi anni del secolo scorso, è in parte andato perduto e in parte sta andando scomparendo soffocato dalle istanze del «nuovo»: nuovi materiali, nuove tecnologie, nuove tecniche costruttive. Il principio teoretico che propugna l'uso di tecniche costruttive e di consolidamento del passato proprio negli interventi di conservazione, che più di altri richiedono un'attenta ricucitura del nuovo con l'antico, dell'attuale con il passato, non è quasi mai stato preso in considerazione. Per questo motivo abbiamo reputato opportuno riproporre, in questa sede, una panoramica su alcune tecniche di consolidamento statico del passato che, se ad un primo sommario esame possono sembrare obsolete e superate, dimostrano invece coerenza e continuità costruttiva, consapevolezza statica e meccanica, capacità tecnica e tecnologica.

I dissesti nelle costruzioni in muratura e i sistemi di consolidamento tradizionali.

Le cause che provocano situazioni di dissesto statico nelle costruzioni in muratura, sono riconducibili ad un insieme di cause perturbatrici di vario genere, e si evidenziano attraverso la formazione di lesioni sotto forma di fratture e deformazioni. Mentre è possibile per ogni lesione risalire al dissesto che la caratterizza, non è possibile per ogni dissesto individuare una sola causa che lo ha prodotto, perché spesso molte sono le cause che concorrono a turbare l'equilibrio statico della struttura. Per ciò che concerne i dissesti, possiamo classificarli più generalmente in cedimenti delle fondazioni e cedimenti delle strutture in elevazione; all'interno di queste due categorie sono compresi tutte le tipologie di dissesti che interessano le costruzioni. Le cause di dissesto, come detto, sono svariate, anche se possono farsi rientrare in due grandi categorie: a) eccesso di azioni esterne; b) difetto di risorse della costruzione. Alla prima categoria appartengono le sollecitazioni provocate da eventi come terremoti, frane, crolli, alluvioni, esplosioni, alterazioni dell'ambiente circostante, variazioni termiche, instabilità del suolo, uso anomalo dell'edificio ecc.; alla seconda, errori di progetto o d'esecuzione, modifiche architettoniche e strutturali, mancanza di manutenzione, degrado dei materiali e delle strutture, invecchiamento, peggioramento delle proprietà fisico-meccaniche del terreno di fondazione e così via. Analizzando la cospicua letteratura storica in materia, la maggior parte delle cause citate è riconducibile al secondo gruppo; esse sono, in genere, prodotte da imprudenti azioni dell'uomo sia nella fase di progetto sia durante la vita dell'opera come gli scavi eseguiti sotto le murature, i tagli per l'apertura di varchi o finestre, le variazioni apportate alle strutture, le sopraelevazioni, la variazione dei sovraccarichi, le fondamenta mal eseguite o realizzate con materiali scadenti, le concatenazioni sbagliate dei muri e una non idonea applicazione dei carichi e dei sovraccarichi, la cattiva qualità delle malte e dei materiali in genere, i muri che non gravano tutti perpendicolarmente e che non premono tutti agli stessi modi sulle fondamenta, l'eccessiva sottigliezza delle murature, la scarsa capacità delle opere murarie a sopportare i carichi, la scarsa qualità e la cattiva esecuzione delle murature stesse, le fondazioni non uniformemente caricate, le sezioni non omogenee, le eccentricità di carico, i terreni di fondazione poco resistenti, il mancato consolidamento dei piani di

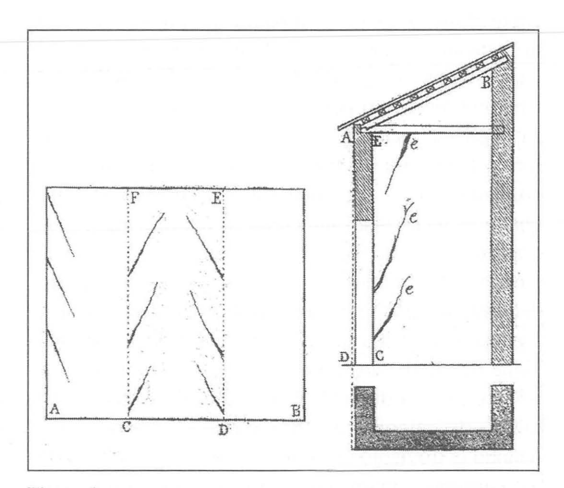


Figura 1
Lesioni indotte sulle pareti interne causate dal cedimento intermedio lungo il tratto CD (De Cesare, 1855, figg. 147-148, tav. IX).

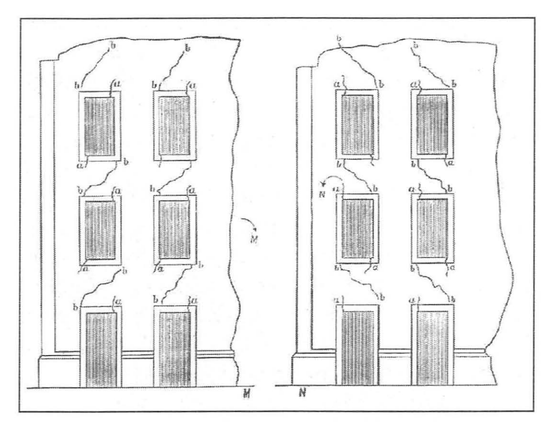


Figura 2
Lesioni sopra le aperture e nei parapetti orientate diversamente secondo il tipo di cedimento (Russo, 1947, figg. 24-25, p. 64).

posa delle fondazioni stesse, la spinta di archi e volte male contrastata, le azioni dovute ai terrapieni, la vetustà, la scarsa manutenzione, i fenomeni d'assestamento nel tempo.

I sistemi di consolidamento dei quali ci proponiamo di offrire un breve compendio, riguardano cinque grandi categorie di opere: le sottofondazioni, l'inserimento di tiranti o catene, la messa in opera di speroni

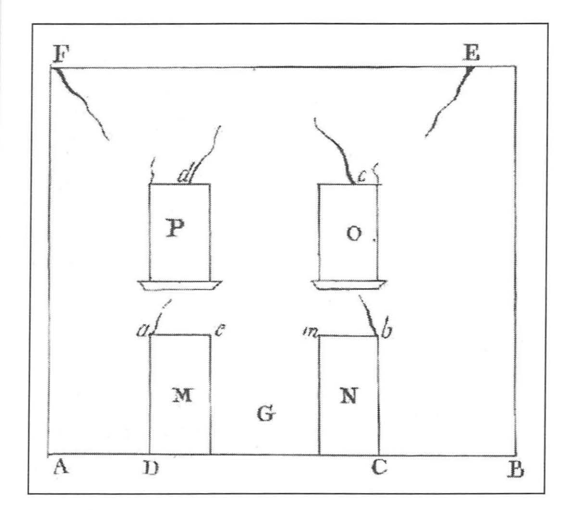


Figura 3
Lesioni sopra le aperture e nei parapetti (Lamberti, 1781, fig. 79, tav. VII).

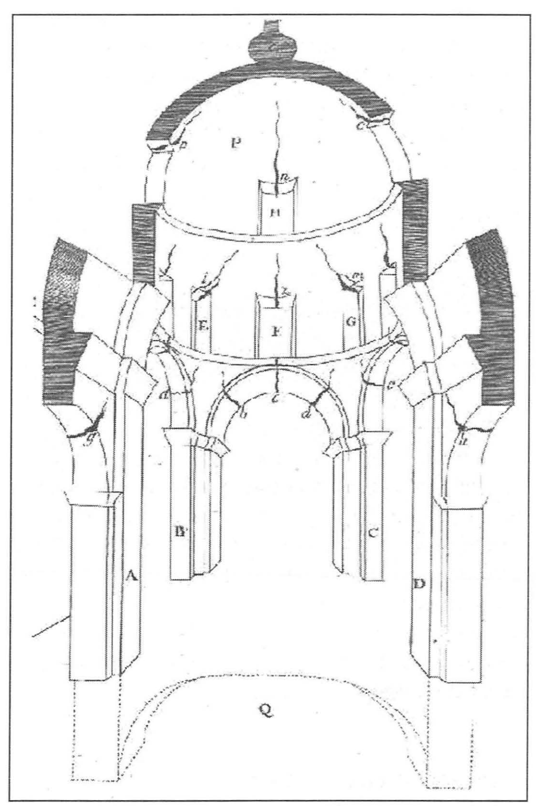


Figura 4
Lesioni in una struttura voltata (Lamberti, 1781, fig. 81, tav. VIII).

e contrafforti, il raddrizzamento di muri strapiombati, le riparazioni locali per mezzo, ad esempio, del cosiddetto «cuci e scuci», ed altri interventi di tipo più specifico.

1. Sottofondazioni. Gli interventi più comuni di sottofondazione hanno sempre previsto, in funzione soprattutto della capacità portante del terreno e della tipologia della fondazione originaria, la costruzione di sottomurazioni che portano ad un ampliamento della base fondale, la costruzione di un sistema ad archi e pilastri nel caso in cui il terreno ha buone caratteristiche di resistenza a grande profondità o, in alternativa, l'uso di pali (L.B. Alberti,[4] G. Masi).[5]

La realizzazione di sottomurazioni, o del «sancire in terra e cucire in fabbrica»,[6] prevede la creazione di

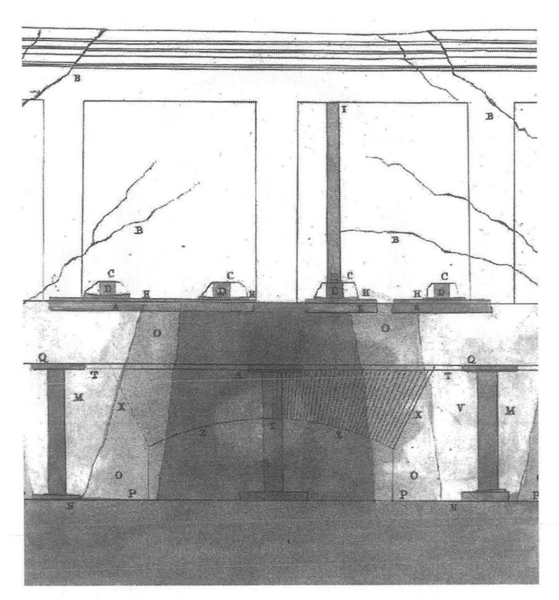


Figura 5
Particolare di una struttura da sottomurare soggetta a lesioni causate da cedimento di fondazione (Valadier, 1833, tav. CCLXVIII).

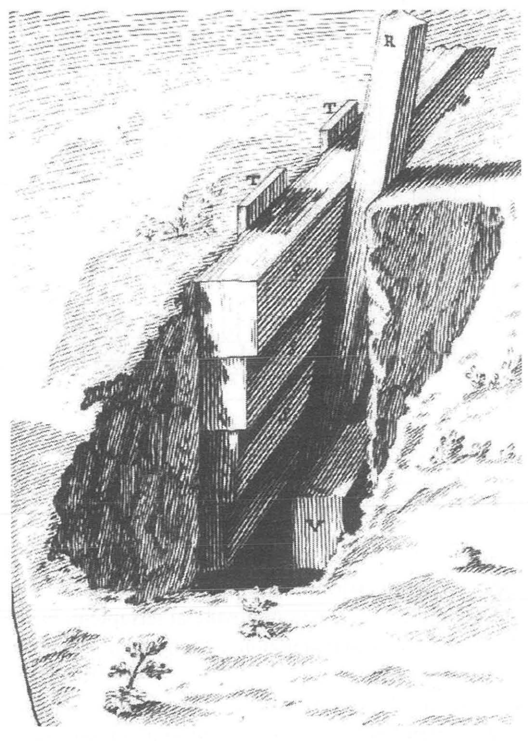


Figura 6
Sistema di consolidamento secondo Zabaglia:[8] R è il *passone* o steccone detto anche uomo morto, S indica le mozzature che fortificano il passone, T indica le tavole poste tra le *mozzature* e il terreno, V è la mozzatura messa in opera sotto il passone affinché il terreno non ceda (Zabaglia, 1824, tav. VI).

una nuova fondazione sotto l'esistente, eseguita in muratura con l'eventuale introduzione di archi di scarico, come peraltro proposto da G. Valadier.[7]

Una scelta opportuna ed un uso attento dei materiali da costruzione sono la «ricetta» per la realizzazione di una buona sottomurazione; a questo proposito, Masi suggerisce di realizzare il muro di sottofondazione con pietra buona e non a sacco, Valadier consiglia invece l'utilizzo del mattone pieno. Una prassi consolidata è anche quella di inserire un puntello sotto la vecchia fondazione a sostegno della muratura sovrastante. Tale puntello deve essere successivamente murato nella nuova fondazione (figg. 7 e 8), prendendo così il nome di *uomo morto*.[9]

Le sottofondazioni su archi e pilastri ricalcano invece le operazioni di sottomurazione per la realizzazione dei piedritti, sia per quanto riguarda il modo d'esecuzione, sia per quello che concerne l'esecuzione dei lavori per cantieri distinti e non adiacenti, e di dimensione contenuta. Una volta raggiunto il livello delle imposte si costruiscono gli archi di fondazione, contemporaneamente da entrambi i lati della stessa e per piccoli tratti. Infine, a fondazione ultimata, si eseguono i lavori di «rinzeppatura» prima e «incassatura a vivo» quando l'arco si è consolidato. In merito alle norme di dimensionamento statico di tali sottofondazioni, Folinea[10] e Russo[11] stabiliscono che la sezione dei pilastri deve essere almeno pari a 1/8 di quella del muro. È interessante notare come nella manualistica tecnica della prima metà del secolo scorso si parli delle sottofondazioni come di opere che si realizzano «di sovente», a testimonianza di un'attività all'epoca ancora perpetuata e strettamente legata alla manutenzione degli edifici.[12]

2. Impiego di tiranti e catene. Numerosi Autori di trattati e manuali tecnici hanno sempre considerato l'utilizzo di tiranti o catene di ferro uno tra i sistemi

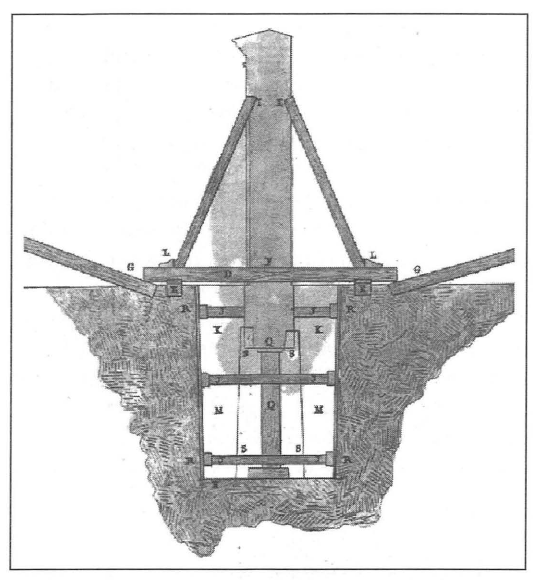


Figura 7
Sottofondazione con l'*uomo morto* (Valadier, 1833, tav. CCLXIX).

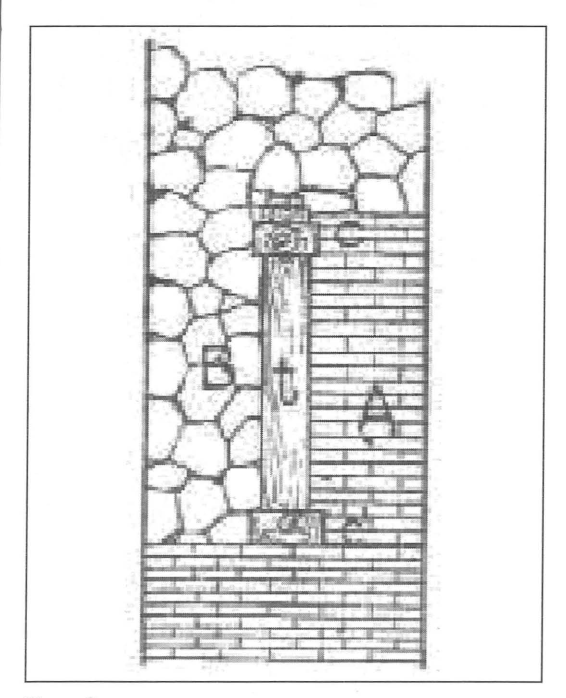


Figura 8
Uomo morto «t» (Russo, 1947, fig. 235, p. 359).

di consolidamento più comuni per gli edifici dissestati. A fronte di questa opinione, diffusa e «consolidata» nella pratica costruttiva e di cantiere, si è potuto osservare lo svolgersi d'interessanti dibattiti e *querelles* sull'impiego di tiranti e catene, sulla loro effettiva funzione statica e di consolidamento, sulla necessità di utilizzarli anche nelle nuove costruzioni e sul modo di messa in opera al fine di un loro corretto funzionamento. Nondimeno, il dibattito sull'opportunità o meno che questi elementi siano lasciati in vista è stato articolato e vario nel corso degli anni.

Tra le voci più autorevoli spiccano quelle dell'Alberti e del Serlio[13] che consigliano l'inserimento delle catene nelle costruzioni voltate particolarmente spingenti; il primo auspica il loro impiego soprattutto negli archi ribassati, mentre il secondo nelle volte a crociera. Decisamente contrario al loro uso in qualsiasi tipo di nuova costruzione è invece Vignola, il quale, in una lettera indirizzata a Martino Bossi, scrive: «ne accetto per buono il mettervi le chiavi di ferro; perciò che le fabbriche ben intese vogliono reggersi per se, e non stare attaccate colle stringhe, e massime dove si ha libera elezione di potersi applicare al meglio».[14]

Meno chiara è la posizione dello Scamozzi: egli sostiene sia le ragioni dei detrattori dell'uso delle catene e dei legamenti in genere, sia i discepoli dell'impiego di questo nuovo elemento strutturale.[15] La sincerità statica è l'elemento fondamentale per A. Capra; egli rimprovera l'uso di «reggie di ferro» soprattutto quando sono mascherate con la calce. La sua posizione nei confronti dell'uso delle catene è molto chiara: mentre accetta il loro uso nel consolidamento degli edifici antichi ribadisce che «giammai l'affermerò ne gli edifici nuovi».[16] Nuovamente favorevoli all'impiego dei tiranti nelle opere di consolidamento statico sono F. Milizia, che riferendosi al Vignola ne contesta l'uso nelle nuove fabbriche, e Cavalieri di San Bertolo.[17] Ad animare il dibattito, che in ogni caso vede l'accordo di numerosi autori nell'attribuire alle catene la funzione d'adeguato sistema di consolidamento statico per l'eliminazione delle componenti orizzontali delle spinte, interviene ancora G. Masi che ribadisce il suo parere negativo sull'impiego dei tiranti di ferro.[18] La posizione di Masi, in realtà, non contribuisce a distogliere l'attenzione dei costruttori dall'impiego delle catene negli edifici lesionati, nonostante egli metta in evidenza gli

eventuali danni prodotti dall'inserimento di questi elementi strutturali in epoca successiva alla costruzione del fabbricato. In effetti, le sollecitazioni prodotte localmente per effetto dell'inserimento della catena sono d'entità modesta e non contribuiscono ad alterare la stabilità generale del fabbricato.

Valadier e Rondelet[19] contribuiranno notevolmente, con le loro opere a stampa, alla diffusione della conoscenza e dell'uso di questi elementi nelle opere di consolidamento. Addirittura Rondelet ne consiglierà l'impiego anche nella costruzione dei nuovi edifici.[20]

A riproporre il dibattito, alla fine del XIX secolo, è Giovanni Curioni. Egli sostiene la necessità dell'uso delle catene nelle nuove costruzioni, oltreché negli interventi di consolidamento, poiché «nelle moderne costruzioni civili non sono più ammissibili quelle enormi grossezze di muri che generalmente si vedono negli antichi edifizii, e che le forme sottili e svelte hanno preso il posto di quelle massicce e pesanti».[21] La posizione di Curioni è sostanzialmente differente da quella di Rondelet. Mentre quest'ultimo ricorre ai legamenti di ferro come assicurazione contro eventuali fenomeni d'instabilità, Curioni ipotizza l'uso di sistemi strutturali in cui i differenti materiali, e dunque anche le catene, collaborano in misura diversa alla stabilità complessiva della costruzione, riguardo alla loro capacità di resistenza.

La «leggerezza» ricercata da Curioni nel progetto e nella costruzione delle strutture portanti di un edificio è tuttavia condannata da Cantalupi il quale sostiene che «nelle moderne costruzioni non è più lecito agli architetti di proporre simili [elementi strutturali i quali] dinotano eziandio una soverchia leggerezza nell'edificio e poca solidità apparente».[22] Molto vicino alla posizione di Rondelet, in merito all'utilizzo delle catene quali elementi aggiuntivi ai fini della sicurezza strutturale della costruzione, è invece il Lenti; quest'ultimo sostiene che per essere certi che i piedritti restino sempre a distanza costante è necessario assoggettarli all'azione di opportuni tiranti di ferro.[23]

Molte di queste dissertazioni a favore o contro l'utilizzo dei tiranti negli edifici di nuova costruzione o in quelli dissestati, sono motivate dalla volontà di non alterare l'estetica degli edifici con la vista di elementi strutturali che potrebbero risultare impropri o comunque non gradevoli dal punto di vista architettonico. Ciò ha condotto numerosi Autori a proporre diverse soluzioni per il loro oscuramento. La maggior parte dei sistemi utilizzati per nascondere le catene prevede la loro collocazione al di sopra dell'intradosso della volta collegandole a tiranti secondari di ancoraggio (figg. 9 e 10).

Alcune varianti, rispetto a quelle illustrate in figura, sono proposte da Cantalupi e Folinea. Si tratta di un sistema di catene a croce di S. Andrea sopra l'estradosso della volta (Cantalupi) e da un complesso di centine di ferro aderenti all'intradosso della volta e assicurate da un sistema di tiranti dentro la muratura (Folinea). Lo stesso sistema d'incatenamento proposto da Folinea è menzionato da C. Russo[24] il quale ne attribuisce a suo padre la paternità, asserendo che egli lo utilizzò *in primis* a Napoli alcuni anni prima che fosse menzionato nel libro di Folinea.

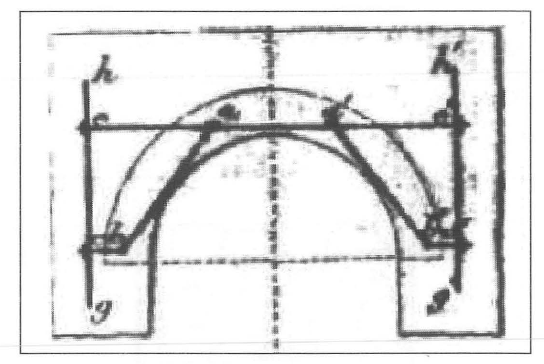


Figura 9
Catene interne (Curioni, 1868, fig. 28, tav. II).

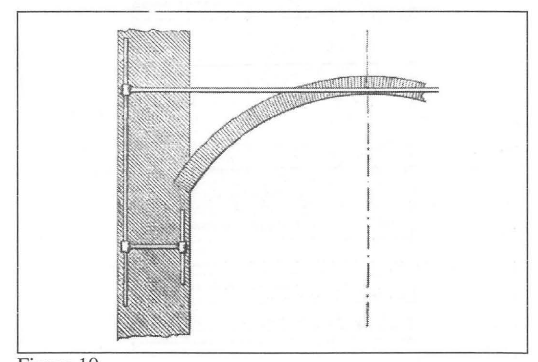


Figura 10
Particolare dell'ancoraggio della catena nel muro (Levi, 1924, fig. 97).

Contrario a questa pratica è invece Valadier il quale sostiene l'inadeguatezza statica di questo sistema: «questa sorte di catene poco o niente forzano, cedono all'urto della volta più o meno secondo la sua forma, seguendo, col piegarsi, l'andamento del cedimento naturale del volto medesimo (...) onde la catena con quella sua struttura, secondando la mossa della volta, non fa il suo officio».[25] Anche Sganzin[26] e De Cesare[27] non sono particolarmente favorevoli a questa soluzione; il primo ne sostiene la necessità solo per gli archi ribassati e il secondo ritiene che in ogni modo il loro effetto, in tale posizione, è minore anche se non ne sconsiglia totalmente l'impiego.

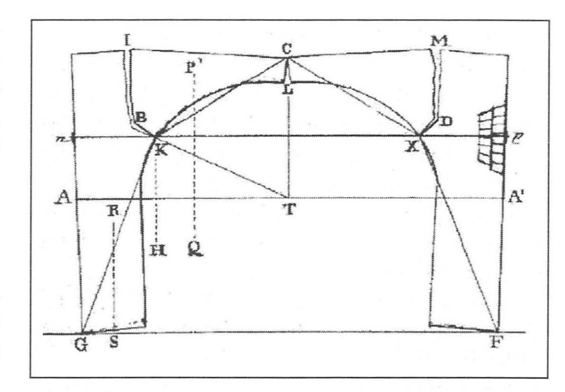


Figura 12
Corretta posizione della catena (De Cesare, 1855, figg. 91, tav. VI).

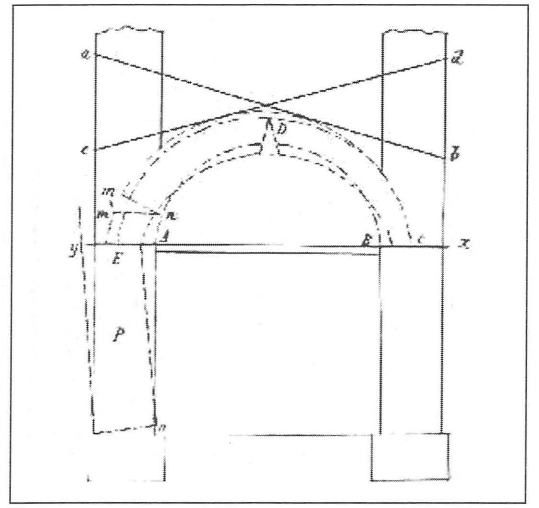


Figura 11
Disposizione a croce di S. Andrea dei tiranti interni (Cantalupi, 1874, fig. 141, tav. X).

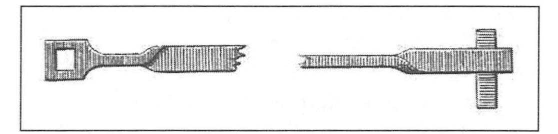


Figura 13
Capochiave e paletto (Cavalieri San Bertolo, 1832, fig. 194, p. 31).

3. L'impiego delle catene nel consolidamento delle strutture ad arco. Le catene utilizzate per consolidare i muri soggetti a forti spinte, sono poste orizzontalmente e nascoste nello spessore del solaio. Quando servono di ritegno alla spinta, esercitata da un arco, sono disposte in corrispondenza del giunto di rottura alle reni o all'imposta. Nel caso delle strutture ad arco De Cesare, individuato il meccanismo di rottura, suggerisce di far passare la catena per il punto di rottura impedendo l'ulteriore rotazione dei piedritti (fig. 12).

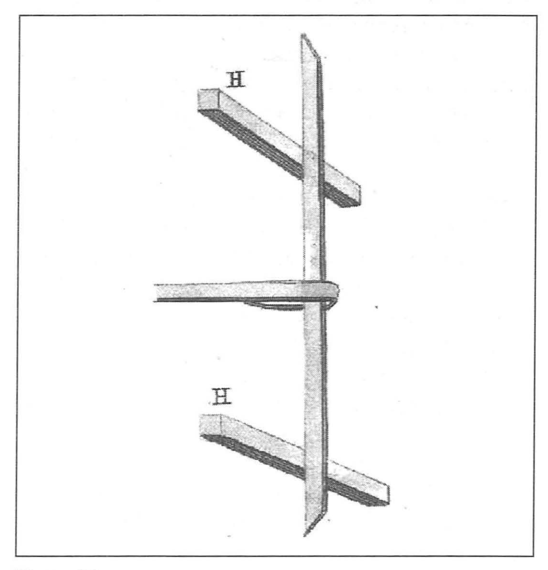


Figura 14
Aumento dell'area di azione del paletto (Valadier, 1833, fig. 7, tav. CCLXXVII).

Con riguardo al posizionamento ottimale delle catene è più precisa l'indicazione di Curioni per il quale conviene disporre la catena al di sotto del giunto nel quale tende a manifestarsi la rottura per cedimento rotazionale. Per ciascun tipo di volta Curioni stabilisce inoltre un criterio per disporre correttamente in opera le catene. Tale criterio dipende sostanzialmente dalla tipologia della volta e dall'andamento delle sue linee generatrici.

Folinea pone invece l'accento sull'importanza di disporre un numero sufficiente di catene lungo tutto lo sviluppo della volta e di bloccare ciascuna catena al muro tramite un sistema di «occhio e paletto», dove l'occhio è l'asola terminale del tirante attraverso il quale passa il paletto posto esternamente alla muratura. La maggior parte degli Autori citati è concorde nel sostenere che il foro, attraverso il quale passa la catena, deve avere forma conica verso l'esterno e, se possibile, deve essere rinforzato con pietra. Il paletto (detto anche traversa, bolzone o capochiave) è generalmente alloggiato in un incavo della muratura e, qualche volta, ricoperto con calcina per oscurarne la vista; in ogni caso esso deve essere messo in opera inclinato, per abbracciare un'area estesa di muro. Nelle murature poco consistenti è consigliato l'uso di un paletto lungo che attraversa due *occhi*, in modo da interessare una superficie maggiore di muro.

Un particolare riguardo all'esecuzione dell'occhio è consigliato da Valadier; egli suggerisce di realizzare capochiave e paletto in modo tale che quest'ultimo non si muova troppo dentro l'asola stessa. Inoltre, egli propone di realizzare il foro di forma allungata senza angoli retti in modo da non deformarsi sotto l'azione dello sforzo di trazione. De Cesare propone invece di realizzare la parte terminale della catena a vite e il paletto a piastra bloccandoli poi con un dado a «madre vite». Questo sistema, chiamato da Folinea «a vite e scrofola»,[28] permette col tempo di recuperare eventuali allungamenti della catena dovuti a dilatazioni termiche della stessa.

Quando la lunghezza della catena lo richiede è possibile realizzarla in più elementi utilizzando diversi sistemi di collegamento *(uncino, cerniera, tenaglia con zeppe o capiglie, talloni, occhi, tallone con briglie e con zeppe, viti, piastre con inchiodature, dente, manicotto, forchetta, spinotto e gabbia)* che consentono di allentare o stringere la catena in modo da modificare nel tempo lo sforzo di trazione (figg. 15-16).

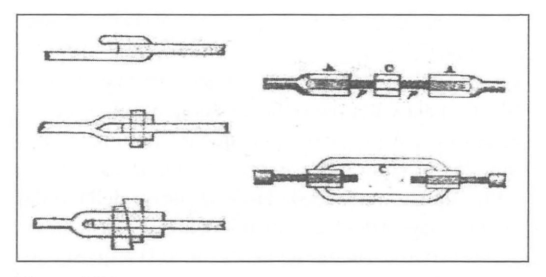


Figura 15
Diversi tipi di unioni tra due parti della catena (Curioni, 1870, tav. II).

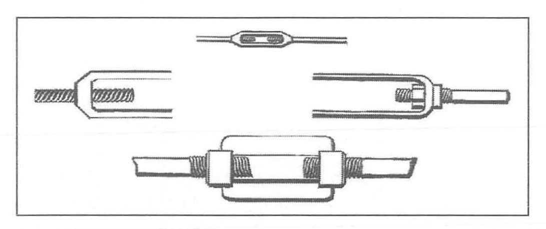


Figura 16
Particolari dell'unione a vite (Russo, 1947, fig. 99, p. 167).

Per quanto riguarda il tipo e le dimensioni delle catene che devono essere impiegate nelle opere di

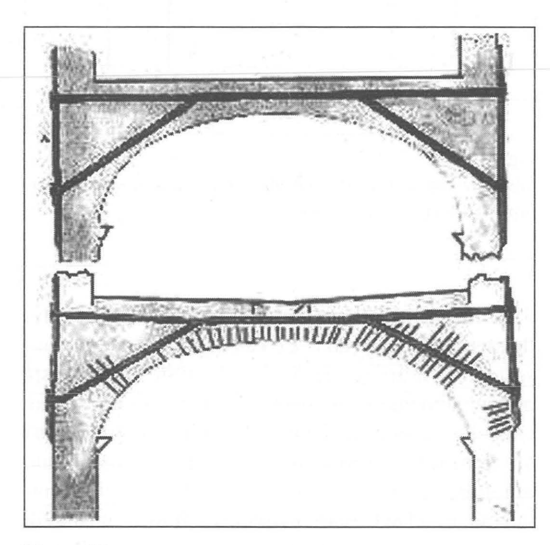


Figura 17
Fenomeni di dissesto causati da catene non correttamente messe in opera (Valadier, 1833, fig. 1-2, tav. CCLXXVII).

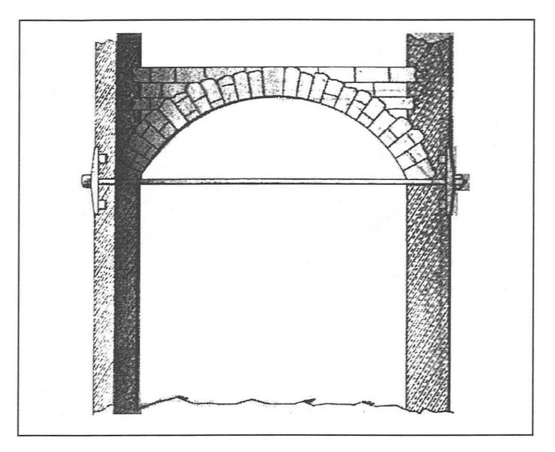


Figura 18
Catena con piastre di ancoraggio (Folinea, 1889, fig. IX).

consolidamento, Valadier consiglia il ferro circolare o «cerchione». Rondelet propone di utilizzare il ferro piatto con almeno 2-2,5 pollici di larghezza per 6-7 pollici di spessore. Cavalieri di San Bertolo suggerisce il ferro piatto di sezione commisurata allo sforzo di trazione che la sollecita. Secondo Curioni, invece, la sezione utile della catena deve essere valutata in funzione della geometria generale della struttura e delle sollecitazioni complessive che gravano sulla costruzione.

L'analisi svolta su questo sistema di consolidamento tradizionale mostra come è possibile intervenire su strutture lesionate semplicemente mettendo in opera elementi che ricompongono lo stato di equilibrio originario senza alterare in maniera significativa lo schema statico strutturale della costruzione. Un tale sistema di consolidamento permette nel tempo di regolare l'azione della catena stessa o addirittura di rimuoverla, senza che l'elemento architettonico sia sostanzialmente modificato.

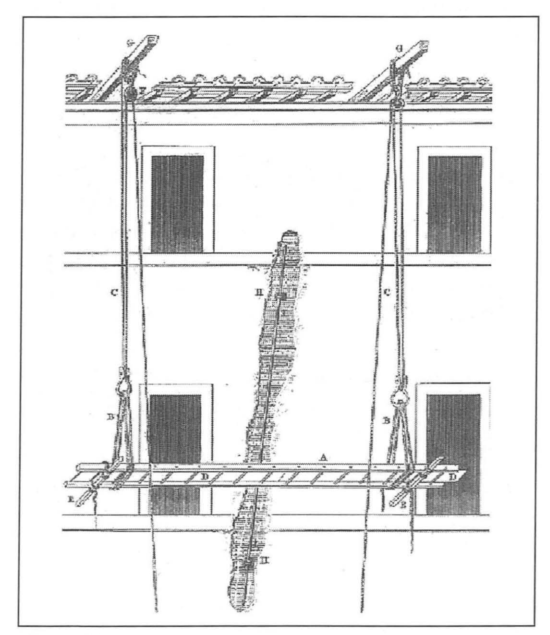


Figura 19
Paletto che comprende due catene (Valadier, 1833, tav. CCLXXIV).

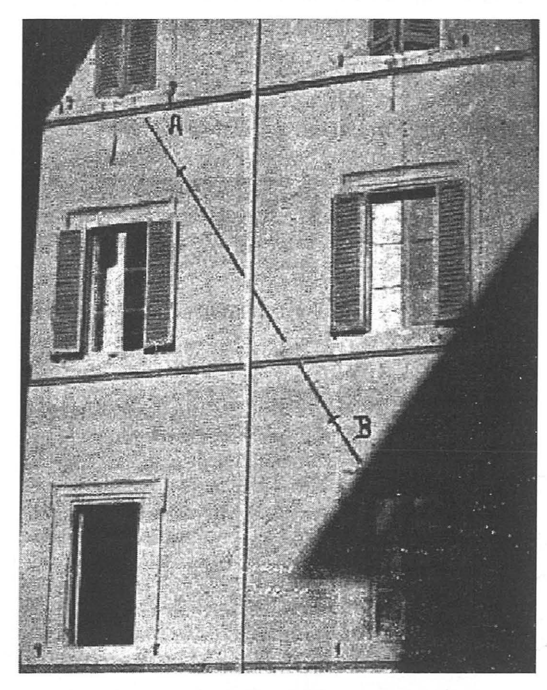


Figura 20
AB: maggiore area di azione del paletto (Russo, 1947, fig. 98).

4. L'uso di speroni e contrafforti. È noto come nei secoli passati l'uso dei contrafforti nelle opere di consolidamento (puntellamenti stabili secondo Donghi)[29] sia stato molto sviluppato.[30] Parimenti, ne-

lla trattatistica architettonica e nella manualistica tecnica l'uso dei rinforzi murari è consigliato quale rimedio utile ed economico.

Alberti, Serlio, Spada[31] propongono differenti sistemi di puntellamenti permanenti, in legno o in pietra, associati a contrafforti murari. «L'uso di speroni tradizionali era da tempo consigliato nella manualistica «dotta», per il consolidamento di «architetture» in pericolo di crollo».[32] D'altra parte l'uso dei contrafforti è testimoniato anche nell'architettura militare. In un'opera sulle fortificazioni Fournjer[33] consiglia l'uso di questi elementi sia come rinforzo ai bastioni, che come sostegno agli archi e alle volte.

Teofilo Gallacini descrivendo i diversi tipi di terreno, e indicando quelli meno adatti ad essere edificati, consiglia la costruzione di contrafforti, speroni o barbacani di rinforzo nelle fondamenta[34] nel caso in cui non si può fare a meno di costruire su terreno cedevole.

Sul problema dell'unione tra muratura vecchia e nuova, questione peraltro già evidenziata da Spada, Gallacini sostiene che «è meglio il fabbricare fuggendo le mura vecchie, essendo miglior partito il fabbricarle di fondo, e far l'opera tutta uniforme; poiché le mura vecchie con le nuove non si uniscono mai, e d'ordinario cedono al nuovo peso».[35]

Masi è al contrario molto attento al collegamento tra il vecchio e il nuovo muro e suggerisce di «spicconarlo, e farvi delle tracce, e trafori da potervisi internare il nuovo materiale».[36] Breymann consiglia invece di realizzare un giunto a tutt'altezza che lasci dello spazio tra i due muri evitando così eventuali fessurazioni sino a che il nuovo muro si sarà pienamente assestato; solo allora potrà essere riempita la commensura.

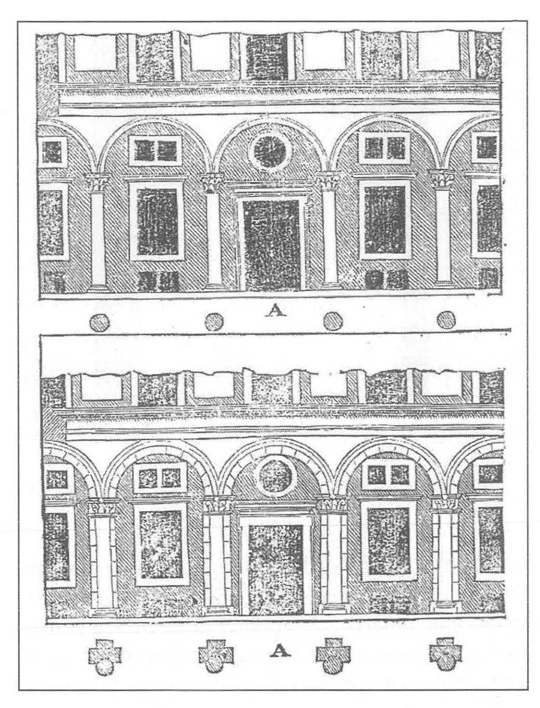


Figura 22
Contrafforti aderenti alle colonne (Serlio, 1584, fig. X A, p. 159).

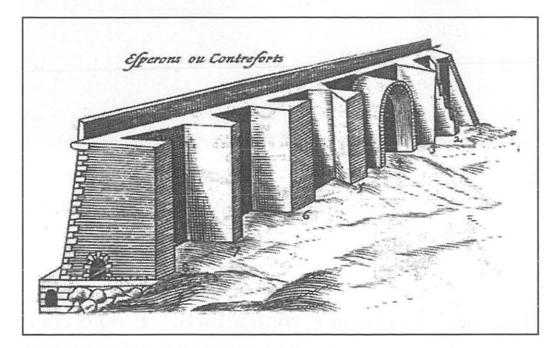


Figura 21
Forme di speroni secondo Fournjer (FournjeR, 1654, fig. G8, p. 98).

Della stessa opinione è Francesco Milizia il quale sostiene che, in presenza di fondazioni solide, il miglior rimedio è l'uso di contrafforti, di speroni, di barbacani e d'archi di scarico facendo tuttavia sempre molta attenzione «che il nuovo leghi bene col vecchio: il che è molto difficile perché il vecchio non fa alcun moto mentre il nuovo col dissecarsi è in continua alterazione finché non sia bene assestato».[37] Sganzin suggerisce l'impiego dei contrafforti come mezzo utile per sostenere le volte e i piedritti dissestati.[38] De Cesare propone di sostituire i contrafforti con porticati e avancorpi che svolgono la stessa funzione ma offrono sicuramente una vista migliore. Breymann prevede di fornire ai contrafforti uno spessore uguale ai 2/7 dell'altezza con una scarpa di 1/6 della stessa e uno spessore minimo in sommità di 0,7-1 metri;[39] De Bono propone la realizzazione di speroni o barbacani addirittura ancora prima di essere costretti ad intervenire con le opere di consolida-

mento. Essi devono avere almeno mezzo metro di fondazione e la base ampliata con tavole di quercia pino o *pitch-pine* di 8 cm. di spessore; i filari delle pietre vanno disposti ortogonali alla faccia esterna inclinata con un angolo di 27-30°.[40] Anche Cristoforo Russo consiglia, nel caso di puntellamento di un muro soggetto a forti sollecitazioni di compressione di utilizzare al posto dei puntoni di legno, speroni o scarpe.

Giovannoni sostiene che gli speroni a scarpa entrano di diritto a far parte del linguaggio dell'opera architettonica. L'osservazione di Giovannoni ci sembra particolarmente utile a chiarire la natura di questo sistema consolidativo tradizionale; si tratta di opere che per la loro forma e dimensione ridisegnano l'architettura dell'edificio che contribuiscono a sostenere apportando importanti contributi al linguaggio architettonico dell'opera stessa. Nel passato, a differenza di ciò che succede oggi, i restauri erano considerati manutenzione ordinaria attraverso la quale si realizzava un *continuum* nella vita dell'edificio; interventi di questo tipo non sono pertanto intromissioni o stravolgimenti della costruzione, ma elaborazioni successive in una struttura dissestata, non solo per errori di progetto, ma anche per effetto di eventi naturali esterni (es. l'azione dei terremoti) di natura eccezionale.

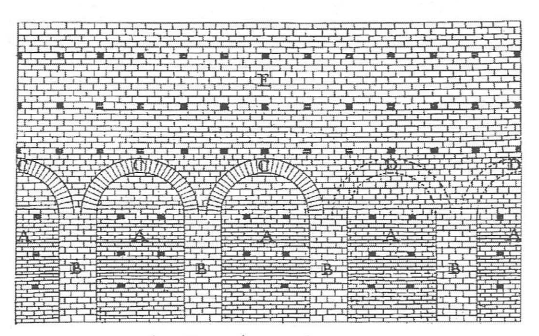


Figura 23
Archi di rinforzo inseriti nella muratura originale. «Ma quando pure l'architetto sia forzato a murare sopra il vecchio, sarà buono avvedimento il fortificare le muraglie vecchie, prima che vi si fabbrichi sopra, cioè, o rifondendole, o facendovi con determinati intervalli alcuni pezzi di muraglia nuova sopra il fondamento medesimo della vecchia, a modo di pilastri, incatenandogli continuamente, mentre si alzano col muro vecchio ad ogni banda, e condotti vicino all'altezza della muraglia, cioè, quanta è la testa d'un mattone, affinchè la superficie del muro non si mostri interrotta dagli archi» (Gallacini, 1767, p. 69).

5. Raddrizzamento dei muri strapiombati. Un capitolo interessante del consolidamento strutturale degli edifici in muratura riguarda la possibilità di ricondurre alla verticalità le pareti così dette «fuori piombo». Questo tipo di dissesto, conseguenza dell'azione di spinte o cedimenti delle fondazioni, è altresì espressione di un buon comportamento della massa muraria dovuto anche ad una tessitura muraria ancora in buono stato, e dove la malta mantiene la sua capacità di coesione e la muratura non denuncia rottura fragile, lesioni e fenomeni di distacco. In questa situazione è possibile pensare di applicare un sistema di forze, utilizzando tecniche che prevedano di ridurre o eliminare lo stato di alterazione geometrica del manufatto rispetto alla situazione originale. Nei trattati e nei manuali troviamo descritti questi diversi sistemi; si tratta in alcuni casi di operazioni sperimentate direttamente e in altri della cronaca di esperienze altrui. Le operazioni illustrate utilizzano il principio statico della leva e della fune; nel primo caso si solleva la struttura (Alberti)[41] e nel secondo si raddrizza con l'ausilio di tiranti. Un sistema alternativo è infine quello che non interviene direttamente sulla parete danneggiata, ma ne ricostruisce la verticalità con un'altra parete in aderenza.

Per quanto riguarda lo spostamento di una parete con l'uso di tiranti di ferro è interessante l'esperienza realizzata da Molard al Conservatoire des Arts et Metiers di Parigi è riportata da Rondelet nel suo trattato.[42]

Tutti i sistemi proposti, per riportare il muro alla situazione di verticalità, mostrano ampia fiducia nella statica originaria della costruzione in muratura e sulla sua riserva di resistenza anche dopo la comparsa di un fenomeno di dissesto.

6. Le riparazioni locali. Una volta eliminate le cause che hanno provocato i dissesti, occorre risarcire le lesioni presenti sulla superficie muraria; in alcuni casi si tratta di fessure limitate ad una zona poco estesa, in altri di parti consistenti della muratura. Nel

primo caso si esegue una semplice *sarcitura* delle lesioni; nel secondo si sostituisce la muratura danneggiata con muratura nuova utilizzando un metodo di ricostruzione in breccia o sostruzione definito nella pratica «cuci e scuci». Quest'operazione s'identifica in alcuni casi nella realizzazione di una struttura interna ad archi e pilastri, in altri casi nella costruzione di porzioni di muratura di forma diversa. Nel caso di elementi isolati quali colonne e pilastri è invece più opportuno prevedere la totale sostituzione.

La *sarcitura* delle lesioni o del «cevare le lesioni»[43] è un'operazione conclusiva destinata a riportare l'edificio al suo aspetto originario una volta realizzate tutte le operazioni di consolidamento. I diversi autori propongono «ricette» diverse per eseguire quest'operazione; è interessante notare come nel caso di opere di modesta entità emerga in modo più rilevante la tradizione locale cui l'autore appartiene. Valadier propone «di accompagnare gli aggetti, cornici, ed altri ornati al meglio possibile, perché le parti abbassate dal cedimento meno appariscano, e si legheranno l'una parte coll'altra del muro leso con mattoni che riuniscano le parti».[44]

Folinea affronta il restauro delle lesioni «definitive». «Se le lesioni sono capillari basta scaraciarle e rimarginarle con semplice malta di assoluto gesso. Se le medesime si presentano pronunziate e con sensibile distacco, occorrerà restaurarle con fabbrica di mattoni e malta di assoluto gesso con addentellature nei due lati, dette comunemente dagli artefici a dente di cane ovvero a catenelle».[45] Nel caso in cui la forma di dissesto è limitata alla malta ormai priva di coesione, Folinea consiglia di eliminarla dalle commettiture, innaffiare bene la muratura e rinzaffarla con gesso. Per le lesioni superficiali Russo propone di scalzarle e rinzepparle utilizzando scaglie di mattoni e gesso nei luoghi asciutti o cemento in quelli umidi; se le lesioni sono più profonde allora prevede un incatenamento della muratura con mattoni e malta di cemento da eseguirsi su entrambe le facce del muro e in modo che il nuovo muro si addentelli al vecchio. Rosci suggella le lesioni di un certo rilievo rinzeppandole «con scaglie di beola forte ben forzata entro le fenditure previa ingollatura di malta fina cemento e sabbia».[46]

L'operazione di «cuci e scuci» prevede lo smontaggio e la ricostruzione *in situ* della parte di muratura danneggiata, con il disfacimento totale o parziale della vecchia muratura o, in alternativa, con la costruzione in aderenza aggiungendo dei rinforzi. È interessante notare che non è posta alcuna attenzione al problema dell'unione «stilistica tra muratura storica e nuova».

Alberti propone di costruire un muro nuovo in aderenza al vecchio, se questi è troppo sottile, e di legarlo con «delle morse ben forti di pietra robusta» all'esistente; in alternativa, egli propone di realizzare un sistema di contrafforti utilizzando un'ossatura di pilastri costruita nello spessore del muro. Valadier si sofferma sull'importanza di valutare i costi dell'operazione, per verificare se convenga il rifacimento del muro per parti o la sua totale ricostruzione. Quest'operazione, definita dal Cantalupi, sottomurazione o sostruzione, deve essere eseguita per cantieri che non «eccedono i 1^{m},50 o 2 ^{m},00 di lunghezza per volta, onde evitare qualsiasi sconcerto nell'edificio»[47] e prestando attenzione che i filari del nuovo muro siano possibilmente allineati con quelli del vecchio. In caso di murature fortemente disgregate De Cesare consiglia di rifarli interamente «scucendo e cucendo la fabbrica a piccole partite».[48] Il Folinea, nonostante sottolinei l'abilità dei costruttori meridionali nell'eseguire queste operazioni, solleva il problema del rassetto della malta e dell'unione tra le parti antiche e quelle nuove.

Nel caso di grave seppur parziale schiacciamento della muratura, e dove per esempio le parti più danneggiate sono gli angoli, gli incroci e i contorni dei vuoti, C. Russo propone di rifare questi elementi a pilastri e far scaricare su di loro le spinte degli archi a tutto sesto. Tra l'arco e il pilastro rimane una zona di muratura originaria che funziona da tamponamento. L'autore evidenzia l'importanza di conservare la muratura in buono stato, dove è possibile, cercando d'immorsarla al meglio con quella nuova. Lo stesso sistema di cucitura e scucitura ad archi e pilastri è proposto da De Bono il quale sostiene che per queste operazioni è possibile utilizzare sia il laterizio sia il tufo preferendo l'uso del secondo ai piani alti e del primo a quelli bassi della costruzione. Giovannoni, infine, rileva l'importanza di evitare che ci sia un'eccessiva differenza tra la resistenza del nuovo materiale e quella del vecchio per evitare che la pressione vada a concentrarsi sulle porzioni di muratura nuova.

Sisto Mastrodicasa[49] identifica quest'operazione con l'esecuzione di catenelle murarie costruite partendo «dal basso aprendo il cavo passante della larghezza minima di due teste (...) raschiando la superfi-

cie dello strappo [e con la costruzione poi della] catenella muraria in mattoni pieni e malta di cemento inserendo bene i mattoni nelle asperità delle pareti laterali del cavo e riempiendo con scaglie e malta di cemento i piccoli vani fra il nuovo e il vecchio ove va fatta rifluire abbondante la malta per empire ogni vuoto (...) così di seguito fino all'apice superiore della fessurazione».[50]

La riparazione di una colonna lesionata può invece essere realizzata sostituendo l'elemento danneggiato con una colonna di materiale nuovo o riparandola *in situ*, mantenendo quindi la struttura originaria dell'edificio. L'Alberti, più incline al primo sistema, scrive: «si toglierà di lì la colonna avariata e al suo posto se ne sistemerà una sana».[51]

La stessa operazione, ripetuta per molto tempo nei secoli successivi, trova nel Valadier un suo sincero sostenitore. «Se la colonna con la base e capitello, sarà composta di rocchi (...) si salveranno li pezzi rocchi non danneggiati per riporli in opera, sostituendo le sole parti danneggiate».[52] Tuttavia, lo stesso Valadier proporrà un sistema, ritenuto più economico, che prevede la riparazione della colonna lesionata con l'impiego di due «sbranche» di ferro stagnato o di rame che colleghino i due pezzi della colonna lesionata. La «sbranca» è realizzata in un unico pezzo e ha due grappe rivoltate a coda di rondine per meglio ancorarsi alla colonna ed è inserita in un incavo sigillato con piombo fuso appositamente predisposto (troppo stretto per non forzare troppo la colonna, troppo largo per non fare lavorare troppo il piombo), ed eventualmente nascosta con tasselli dello stesso materiale della colonna.

Conclusioni

Questo breve resoconto non può, evidentemente, rendere merito all'insieme di conoscenze e saperi messi in luce in questi secoli —in parallelo con gli sviluppi dell'architettura e delle costruzioni— sia nella trattatistica architettonica sia nella manualistica tecnica, oltreché nei cantieri di restauro e manutenzione. La mancanza di una *Storia della costruzione*, disciplina peraltro assente negli ordinamenti didattici delle Facoltà di Architettura, e di una *Scienza del consolidamento*, per la quale abbiamo in altre sedi già perorato la causa, è un elemento che contribuisce vieppiù a disperdere questo patrimonio di conoscenze che non si trova ormai più documentato se non in particolari ambiti settoriali, o in pubblicazioni specialistiche.

La necessità di promuovere e incentivare la conoscenza di metodiche e tecniche di analisi e di intervento nonché delle tecnologie del passato, l'approfondimento di conoscenze empiriche e scientifiche da confrontare, soppesare, valutare per quello che di positivo contengono, diventa compito importante ai fini di una ri-appropriazione di saperi che altrimenti andranno perduti, sommersi da quella volontà di nuovo che tutto dimentica e distrugge. Con l'intento di conservare, mantenere e trasmettere ai nostri successori l'innumerevole patrimonio architettonico e

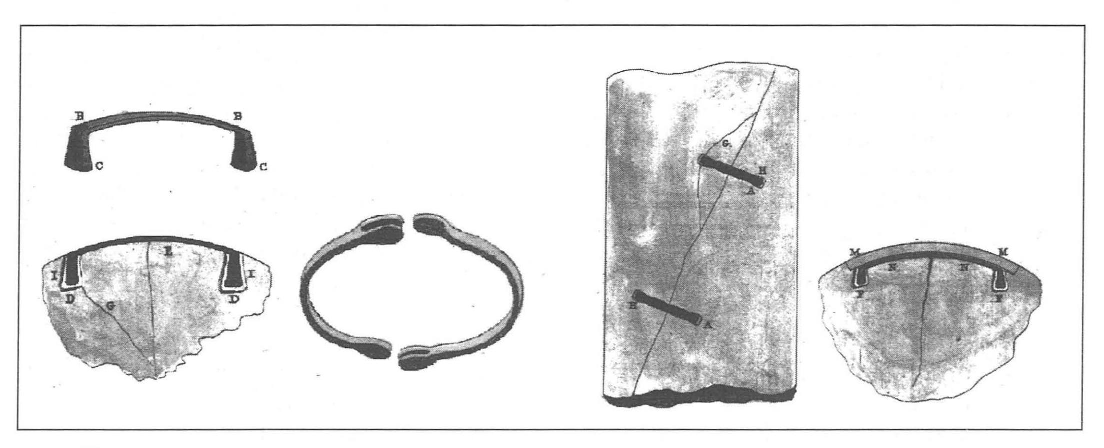


Figura 24
«Sbranche» di ferro (Valadier, 1833, tav. CCLXXII-CCLXXIII).

edilizio attraverso le opere di restauro, di conservazione e di manutenzione diventa indispensabile riprendere le fila di un discorso interrotto - quello delle tecniche di consolidamento tradizionali – che sicuramente meglio si adattano alla conservazione e alla manutenzione del nostro patrimonio edilizio.

NOTE BIBLIOGRAFICHE.

1. Corradi, M.: «Science of Strengthening Historic Buildings - A Possible New Discipline», in *Masonry (8) Proc. of the Fifth Int. Masonry Conf.*, a cura di H.W. H. West, Publ. by the Society, Stoke-on-Trent 1998, pp. 314-319.
2. Corradi, M.: «Il ruolo della scienza del costruire nella 'reintegrazione delle lacune», in *La reintegrazione nel restauro dell'antico. La protezione del patrimonio dal rischio sismico*, a cura di M. M. Segarra Lagunes, Gangemi, Roma 1997, pp. 257-264; Corradi, M.: «Alcune considerazioni sul ruolo della scienza del costruire nella 'Reintegrazione delle lacune' », in *Lacune in Architettura: aspetti teorici ed operativi*, a cura di G. Biscontin e G. Driussi, Atti del XIII Convegno Scienza e Beni Culturali 1997, Arcadia Ricerche, Venezia 1997, pp. 107-115.
3. Corradi, M.: «Fondamenti storici della «Scienza del consolidamento»», in *Atti del V Congresso Nazionale ASS.I.R.C.CO.*, Orvieto 22-24 maggio 1997, a cura di R. Ciufo, F. Migliorato, E. Virdia, pp. 221-226, Edizioni Kappa, Roma, 1997; Brigandì, F.; Corradi, M.: «Tecniche di consolidamento tradizionali per la manutenzione del costruito storico», in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *Ripensare alla manutenzione*, Atti del Convegno di Studi, «Scienza e Beni culturali, XV. 1999» —Bressanone 29 giugno— 2 luglio 1999, Arcadia Ricerche, Venezia 1999, pp. 209-222.
4. Nei terreni poco consistenti «si scaveranno dei pozzi e si pianteranno nel terreno dei pali molto fitti, sui quali si disporranno, da ambedue le parti, delle travi robustissime, longitudinalmente rispetto al muro. Poi, sopra queste, in posizione trasversale, sotto le fondamenta del muro, si collocheranno altre travi, più grosse e solide ancora delle precedenti; si poggino sul primo strato di travi, e col proprio dorso, quasi fosse un ponte o un giogo, sostengano il muro» (Alberti, L.B.: *De Re Aedificatoria*, 1452. Ristampa anastatica, Il Polifilo, Milano 1966, p. 992).
5. Masi, G.: *Teoria e pratica di architettura civile,* A. Fulgoni, Roma 1788.
6. De Cesare, F.: *La scienza dell'architettura applicata alla costruzione, alla distribuzione, alla decorazione*, G. Bellinzona, Napoli 1855, p. 261.
7. «Se fra l'una e l'altra per risparmio di tempo e di materia si volesse assicurare col farvi un arco, o a tutto sesto, o a cima di sesto, non si avrà che lasciare nei nuovi muri l'imposte, come alla lett. X, e cavare nel terreno il sordino lett. Z, costruendo tale arco in due o tre tempi, perché il muro danneggiato non resti totalmente sui cavalli in un tempo» (Valadier, G.: *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di S.Luca*, per la società Tipografica, Roma 1829-1833, pp. 75-76).
8. Zabaglia, N.: *Castelli e ponti di Maestro Nicola Zabaglia*, Tipografia Puccinelli, Roma, 1824.
9. I fautori di questo sistema di consolidamento sono stati Masi, Zabaglia e Valadier. Quest'ultimo consiglia, dopo aver spianato bene il di sotto della fondazione, di piantare «nel mezzo della grossezza del fondamento suddetto una mozzatura di legname atto a resistere all'umido, come sarebbe la quercia o il lecino, trave piuttosto grosso, chiamato uomo-morto, ben forzato, basato sopra un lastrone solido di pietra, e ad un pezzo di tavolone sotto all'antico fondamento» (Valadier, G.: *op. cit.*, p. 75). Della stessa opinione saranno in seguito Musso e Copperi (Musso, G.; Copperi, G.:*Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati*, G. B. Paravia, Torino, Roma, Milano, Firenze, Napoli 1885, 3a ed.) e C. Russo (Russo, C.: *Trattato sulle lesioni dei fabbricati*, Utet, Torino 1947).
10. Folinea, E.: *Sulla origine delle lesioni nei fabbricati e metodi di restauro,* A. Trani, Napoli 1889, p. 15.
11. Russo, C.: *op. cit.*, p. 32.
12. «Avviene sovente di dover fare parti di fondazione o maggiori approfondimenti, perché le vecchie si sono logorate od hanno subito danneggiamenti, o perché la platea di terreno sodo si è rammollita o perché gli archi si sono sconnessi, o per formarne altri, o per altre consimili ragioni. Debbono essere a tale intento praticate bilancie e puntellamenti atti a sostenere provvisoriamente il sovrastante murato con i relativi sovraccarichi, per il tempo occorrente a demolire le fondazioni guaste o per rifare gli archi sconnessi e quelli nuovi, o per fare i maggiori approfondimenti sul terreno a seconda dei casi. Le nuove parti di muratura debbono essere fatte collo stesso sistema di quelle vecchie, rifacendo i filari in prosecuzione di quelli rispettati, anzi collegandoli con quelli in modo da costituire un unico corpo ben solido (...). è indispensabile controllare che i filari siano rifatti coi suesposti criteri, che i materiali siano della qualità richiesta e che le malte siano uniformemente resistenti» (Andreani, I.: *Nel Cantiere,* Hoepli, Milano 1929, pp. 201-202).
13. Serlio, S.: *I sette libri dell'architettura,* Venezia 1584.
14. Barozzo da Vignola, G.: *Lettera di Giacomo Barozzi Vignola al magn. Messer Martino Bossi*, in *Raccolta di lettere, sulla pittura, scultura ed architettura*, a cura di

S. Ticozzi, Giovanni Silvestri, Milano 1822, Vol. I, p. 499.

15. «Quali cose si devono molto bene osservare per sfuggire quelli abusi, e disconci di metter ferramente, e catene da legar pali atraverso a' luoghi; le quali maniere furono introdotte da' Barbari, e genti straniere, e del tutto lontane dalle belle, e gratiose maniere dell'edificare; e però alle volte osservate da alcuni moderni poco intendenti, e manco osservatori del buono». Una posizione dispregiativa nei confronti delle catene che però più avanti si attenua quando sostiene che «vero è, che alle volte si potiamo assicurare con le catene di ferro fin tanto, che l'opera possi stabilirsi, e far buon presa» (Scamozzi, V.: *Dell'idea di architettura universale*, Venezia 1615, p. 319).
16. CAPRA, A.: *La nuova architettura famigliare*, G. Monti, Bologna 1678, L. II, cap. XII, p. 120.
17. Cavalieri di S. Bertolo, N.: *Istituzione di architettura statica e idraulica*, Bologna 1826-27, pp. 240-241.
18. «Non ho mai suggerito per riparare a danni, che avvengono negli Edifizi l'uso delle chiavi, o catene di ferro, perché sono di sentimento, che quanto possano giovare (...) negli Edifizi, che si fabbricano di pianta, almeno fintantochè i materiali non abbiano fatta buona presa, altrettanto stimo che possan'essere di pregiudizio adoperandole ne' vecchi Edifizi, sì pel gravame, di cui li vengono a caricare, sì per i squarci che bisogna fare ne' muri per situarvele, onde sono di parere, che le chiavi di ferro non siano per essere di giovamento ne' vecchi Edifizi, ma piuttosto di pregiudizio, eccettuato però qualche caso particolare, in cui un giusto discernimento, e l'esperienza suggeriranno all'Architetto l'espediente di stringere l'Edifizio mediante le chiavi di ferro con morale certezza di impedirne l'ulteriore deterioramento, che si teme» (Masi, G.: *op. cit.*, p. 67).
19. Rondelet, G.: *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, Caramenti, Mantova 1832.
20. Cfr. a questo proposito le indicazioni di Cantalupi in Cantalupi, A.: *Istruzioni pratiche sull'arte di costruire le fabbriche civili*, Salvi e Co., Milano 1862, p. 23.
21. Curioni, G.: *L'arte di fabbricare*, Negro, Torino 1868, p. 92.
22. Cantalupi, A.: *op. cit.*, p. 23.
23. Lenti, A.: *Corso pratico di costruzioni*, Tipografia G. Chiari, Alessandria 1884-85, p. 67.
24. Russo, C.: *op. cit.*, pp. 164-165.
25. Valadier, G.: *op. cit.*, p. 92.
26. Sganzin, M.: *Nuovo corso completo di pubbliche costruzioni*, (trad. ital.) Venezia 1849, p. 141.
27. De Cesare, F.: *op. cit.*, p. 198.
28. Folinea, E.: *op. cit.*, p. 43.
29. Donghi, D.: *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1925-35, p. 283.
30. Gizzi, S.: *Analisi storica e comportamentale di sistemi di consolidamento tradizionali in muratura nelle aree archeologiche romane e laziali*, Min. BB. CC. e AA. Soprintendenza Archeologica per il Lazio, Roma 1991, pp. 39-41.
31. Bonavia, M.; Francucci, R.: *Visite guidate nel cantiere barocco*, in *Conoscenza e sviluppi teorici per la salvaguardia di sistemi costruttivi tradizionali in muratura*, a cura di G. Biscontin e R. Angeletti, Libreria Progetto, Padova 1987, pp. 83-84.
32. Gizzi, S.: *op. cit.*, p. 15.
33. Fournjer, G.: *Architecture militaire*, Libraire Iurè, Paris, 1654 (2éme éd.), p. 36 e p. 149.
34. «Facciansi alla muraglia dei fondamenti, ad ogni due o tre braccia, alcuni speroni fatti a modo di branche, ovvero a mezz'archi, i quali, come saettoni, o puntelli, entrino sotto il muro dalla parte del terreno, che si piega, (il che si conosce dalle sue vene) facendo il posamento loro molto più basso di quello della muraglia, e tanto lontano da esso, che vi si possa far l'arco, o la branca» (Gallacini, T.: *Trattato sopra gli errori degli architetti*, Venezia 1767, p. 24).
35. Gallacini, T.: *op. cit.*, p. 69.
36. Masi, G.: *op. cit.*, cap. I, p. 66.
37. Milizia, F.: *Principi di architettura civile*, Finale Ligure, 1781 (1a ed.); Milano, 1847, p. 572.
38. «Si aumenta la resistenza delle volte e dei loro piedritti, 1° innalzando delle masse murali ed altre a perpendicolo delle origini o dei piedritti come le mostrano le fabbriche gotiche; 2° rinforzando di distanza in distanza l'estradosso delle origini o dei piedritti col mezzo di contrafforti piani, o con archi, a similitudine delle costruzioni gotiche, ma converrà regolare l'intervallo di codesti appoggi in maniera che i muri intercalari non possano distaccarsi dalle zone sostenute dai contrafforti ne rompersi tra un contrafforte e l'altro» (SGANZIN, M.: *op. cit.*, p. 141).
39. Breymann, G.A.: *Trattato di costruzioni civili*, Milano 1885, pp. 316-317.
40. De Bono, E.: *Diagnosi e terapia dei fabbricati lesionati*, Guida, Napoli 1932, pp. 82-83.
41. I sistemi utilizzati per il sollevamento delle fabbriche seguono di massima lo schema descritto dall'Alberti: «Se il muro si è discostato dalla verticale, si sistemeranno delle travi facendole aderire al muro stesso. A ciascuna di queste si applicherà un puntello di legno ben robusto, con l'estremità inferiore discosta dal muro; poi si stringerà a poco a poco per mezzo di legni e di cunei, si che esercitino pressione sul muro. In tal modo, distribuendo accortamente le spinte, il muro sarà riportato sulla verticale. Il sollevamento si attua inserendo sotto il corpo una trave in funzione di leva, che abbiamo denominato stadera. Si comincerà a scavare sotto il centro del lato che interessa, ai piedi dell'orlo inferiore dello spiccato. Quivi si praticherà in profondità un'apertura

non molto ampia, la cui altezza sia tale da consentire di riempirla con pietre ordinarie robustissime inserite nella posizione che si preferisce. Nel posarvi dentro queste ultime non bisogna riempirla fino all'orlo, bensì lasciarvi un vuoto della profondità di alcuni palmi, che saranno occupati da conci di rovere, non troppo radi. Con identico procedimento si puntellerà l'intero lato di tale cappella, che da quella parte appunto si vuol fare coricare un po' di più. Quando questi sostegni abbiano preso su di se il peso della costruzione, con accuratezza e cautela si estrarranno di sotto i conci medesimi, per modo che il muro, or ora inclinato, torni ad allinearsi esattamente sulla verticale. Gli spazi vuoti tra concio e concio si riempiranno con altri conci di pietra robustissima» (Alberti, L. B.: *op. cit.*, p. 996).

42. Rondelet, G.: *op. cit.*, nota 1, p. 60.
43. De Cesare, F.: *op. cit.*, p. 260.
44. Valadier, G.: *op. cit.*, pp. 76-78.
45. Folinea, E.: *op. cit.*, p. 35.
46. Rosci, L.: *Puntellamenti e rinforzi negli edifici lesionati*, G. Lavagnolo, Torino 1933, p. 48.
47. Cantalupi, A.: *op. cit.*, pp. 191-192.
48. De Cesare, F.: *op. cit.*, p. 261.
49. Mastrodicasa, S.: *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Hoepli, Milano 1993 (9a ed.).
50. Mastrodicasa, S.: *op. cit.*, p. 496.
51. Alberti, L.B.: *op. cit.*, p. 996.
52. Valadier, G.: *op. cit.*, p. 83.

Instrucciones técnicas de los tratadistas del siglo XIX para la construcción de los lugares teatrales

Roberto Crescente

En el siglo XIX la mayoría de los arquitectos italianos tenía en consideración las teorías sobre los teatros que se habían desarrollado en Francia, al otro lado de los Alpes, no por sus aportaciones, sino simplemente, porque la tendencia —heredada del siglo precedente— de considerar a Francia, en relación a otros países, centro propulsor de nuevas teorías.

En efecto, el estilo decimonónico es ideado, empleado y utilizado por los filósofos antes que por los italianos, los cuales, sucesivamente, como veremos, emergerán a raíz de su propia singular concepción. En el siglo XVIII, un enfoque nuevo invade la cultura europea, derivando de la influencia benéfica ejercida por la Ilustración. Las profundas transformaciones exteriores y la renovación moral, son las premisas de las nuevas ideas, las cuales, divulgándose, favorecen el crecimiento vertical de una cultura que se había vuelto provinciana, académica y de salón. El teórico de esta era es un intelectual distinto de sus predecesores, íntimamente consciente de su responsabilidad social y de sus propios deberes para con la Humanidad; ve el teatro en la acepción más completa del término, tanto como nuevo objeto cultural e instrumento precioso de propaganda, como medio de liberación de la humanidad de su propio mundo interior afligido por una variedad impresionante de sin sentidos, supersticiones y prejuicios.

D'Alambert, Rousseau y Voltaire propugnan un teatro en primer lugar renovado más en los contenidos, que en las formas más tradicionales, puesto que la comedia de los personajes burlescos de las farsas y de las pantomimas se ha vulgarizado con partes bufonescas y la tragedia neoclásica se ha vuelto mero ejercicio dialéctico, desarraigado de conflictos, situaciones y sentimientos reales. Ofrecen un magistral desarrollo de la idea de teatro propugnada por los seguidores de la Ilustración, Ledoux en Besançon (1775-1784) y en Marsella (1785) y Boullée en la Ópera (1781). Ambos demuestran haber asumido la teoría de los filósofos; uno, Boullée,[1] aplicándola principalmente a través de la teoría de los cuerpos como gran evocadora de sensaciones; el otro, Ledoux, artífice de una arquitectura menos rigurosa, a través de la búsqueda de nuevas soluciones tipológicas. Ambos arquitectos, Boullée y Ledoux, satisfacen sabiamente estas exigencias nuevas, eliminando el progresar del proscenio en la sala y, sobre todo Boullée, manteniendo separada la zona reservada al público de la del escenario, a su vez bien delimitado por el arco escénico, con la eliminación de algunos lugares sobre la escena y de palco sobre el proscenio. Boullée está en antítesis con Vitruvio, esencialmente inclinado hacia intereses mecánicos, hasta hacer perder a la arquitectura la función de transmitir emociones.[2] También Ledoux está en desacuerdo con el exceso de racionalidad.[3]

Un arquitecto urbanista, Pierre Patte, fundador de la evolución de la tipología teatral, se contrapone a las ideas de Boullée y Ledoux, sentando las bases para los tratadistas sucesivos (figura 1). Convencido defensor de la superioridad de la acústica y de la óptica, en la definición de los elementos que contribu-

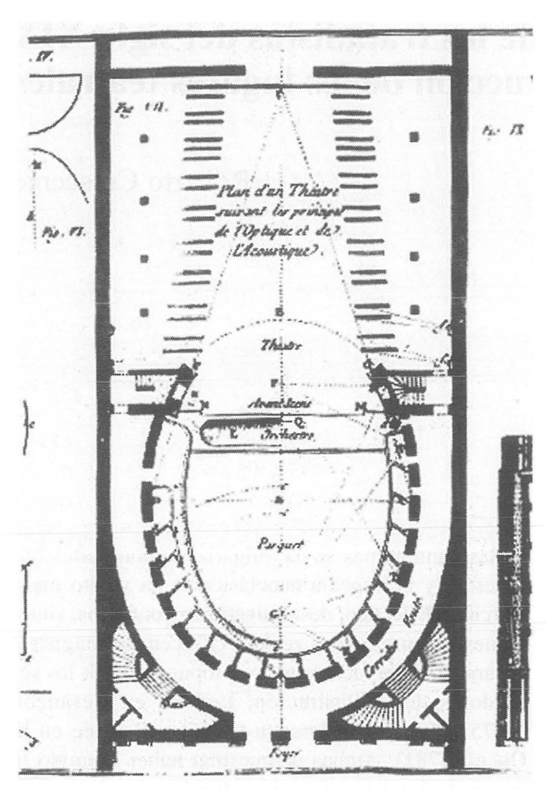


Figura 1
Planta de un teatro respetando los principios de la óptica y de la acústica, de P. Patte, en Ferrario, G.: *Storia e descrizione de' principali teatri antichi e moderni*. Bologna, 1977

yen mejor a la compleja constitución del teatro, realiza estudios en esta dirección llegando a la conclusión de que entre todas las formas geométricas la más adecuada para hospedar el sonido es la elipse, figura que goza de una propiedad según la cual los dos focos —colocados uno en el centro del escenario y otro en el centro de la sala— logran de modo biunívoco y regular la refracción del sonido y garantizan una buen acústica.[4]

El teatro como caja armónica, como instrumento al servicio de la voz, como caja óptica predispuesta para la visión constituye el fundamento de la teoría de Patte.[5] La obra de Patte se ofrece gustosa como soporte a la obra del empresario, el cual puede obtener provecho con dicho tipo de organización, es decir sustituyendo el semicírculo con la elipse. Sin embargo, coincidiendo con las ideas consolidadas en Francia, hombres como Algarotti, Planelli y Arteaga, se agrupan por medio de la voluntad de dar soluciones unitarias a las problemáticas presentes en el teatro, a través de sus escritos, a pesar de que en Italia —a mediados del siglo XVIII— falte la unidad política y cultural y se extienda la pobreza en perjuicio de la producción arquitectónica. En el siglo XVIII, la idea de Vitruvio, ya descubierta nuevamente en el Renacimiento, ofrece un nuevo campo de investigación en la búsqueda de los requisitos aptos a garantizar una evolución teatral más óptima.

Según el autor romano, el arquitecto debería tener una cultura enciclopédica enfocada al desarrollo del conocimiento de las artes y de las diversas ciencias fundadas sobre la proporción y sobre la matemática como la perspectiva, la pintura, la música, la medicina, así como la historia para la decoración y los adornos, y la filosofía para la conducta moral del artista; concuerdan con Vitruvio también tratadistas como Planelli, Arteaga y Milizia. En este período tales principios emergen de la necesidad de redescubrir el placer de la vista ya superado por la envolvedora fuerza emotiva de la música. Es precisamente Pietro Gonzaga, arquitecto y escenógrafo, el que reafirma el papel primario de la visión artificial a través de la reflexión y observación en ámbitos diversos; por ejemplo, en el social, del cual emerge la importancia de aparecer en especial como afirmación de su poder; en el cultural, sobre el modelo de los fisiólogos, profundiza la relación causa-efecto de la luz; en la vida cotidiana, el papel que juega *la apariencia* en las relaciones amorosas (figura 2).

Gonzaga actuó como escenógrafo a partir del 1780 en Venecia en el teatro La Fenice y en Roma en el teatro Argentina, antes de ello lo encontramos activo con los hermanos Galliari en el Teatro de la Scala de Milán; diez años más tarde se traslada a Rusia como escenógrafo de corte.

En síntesis, el autor se encarga sólo de devolver los tiempos gloriosos de la construcción escénica en el interior del espectáculo. Así, en primer lugar, intenta demostrar el papel preeminente de la escenografía sobre la música; sucesivamente perfila algo nuevo: el escenógrafo, como figura que obra en el interior del teatro, el cual a través de su propia experiencia y el arduo trabajo intenta llegar a teorías, en sustitución de aquel intelectual que desde el exterior discutía, sugería soluciones y las aplicaba en lo abso-

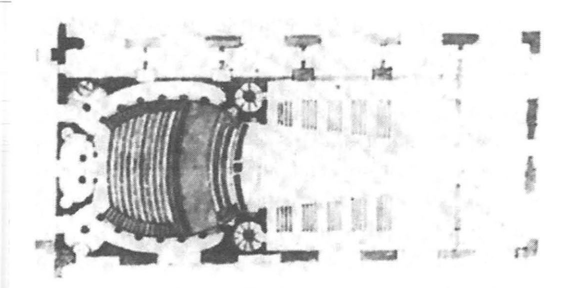


Figura 2
Gonzaga P. Planta del proyecto del teatro de Arkhangel's, en Molinari, C.: *Storia universale del teatro*. Milano, 1983

luto. Al mismo tiempo, desvela técnicas preciosas que debería conocer un escenógrafo destacado. En efecto: con mecanismo estudiados, conquista el interés del público: con su habilidad profesional se gana el aprecio de los artistas y de los aficionados del teatro; con las maravillas y grandiosidad de la riqueza fascina a los ignorantes; con la luz pintoresca atrae a la burguesía, clase a la que Gonzaga se dirige de modo especial en contraposición con la ideología de Antolini. La obra de Gonzaga tiende a la simulación de la realidad en la escena, a menudo con la ayuda de un uso inteligente de la luz para multiplicar las capacidades expresivas del actor o con la introducción en el escenario de objetos capaces de reproducir un estilo y una historia del lugar, en el que se ambienta la escena. Los detalles citados, así como otros, intentan lograr que la escena recupere una función central en el espectáculo teatral. Aficionado a la arquitectura y al teatro es Tommaso Carlo Beccega, el cual se encuentra en perfecto acuerdo con lo que ha escrito Milizia, y como él toma como referencia los tres cánones de Vitruvio, considerando que el teatro ya está lejos de ser concebido como maestro de enseñanzas morales; resulta inútil hacer proyectos grandiosos, es suficiente que sean sólidos, bellos y funcionales (figura 3). Además, al canon de la *belleza* le debe responder la sala, al de la *comodidad* la escena. Para la realización de ambos lugares se deben observar algunas normas: el escenario con una inclinación de 1/15 con respecto a la longitud; la orquesta colocada más abajo con respecto a la inclinación dada a la sala, la cual resulta en forma de *herradura*, pero con una anchura mayor que la longitud; algo así como un semicírculo un poco alargado en la extremidad; los elementos que separan las galerías dirigidos hacia la mitad del proscenio; la anchura del escenario igual a la longitud, la cual deberá resultar inferior a los 45 m., límite más allá del cual podría haber problemas de acústica.

En efecto, identifica la causa de dicho problema en los lugares *cincunsonantes*.[6] Además, a 1/5 de la anchura le corresponde la altura del techo; la extremidad del teatro es más estrecha para evitar la formación del ángulo sobre el lado del proscenio, el proscenio redondeado, y, finalmente, una distancia entre pared y bastidores. También para la iluminación, con el fin de que la luz sea menos invasora, Beccega ofrece algunas ideas como la adopción de una lámpara capaz de producir un efecto atenuado, quizás debido a la aplicación de espejos laterales. Esta concepción es inusual en el siglo XIX, puesto que oscureciendo la sala se habría perdido la posibilidad de cada uno de ver y ser visto, cosa que era esencial para todos. Además, se encarga de la elección de los materiales, sugiriendo la adopción de la piedra para la estructura interna vertical y de la madera para el revestimiento.

De esta manera, promueve la adhesión a la realidad, cosa que se evidencia también en el querer frenar el uso de los mecanismos teatrales y limitar su empleo.

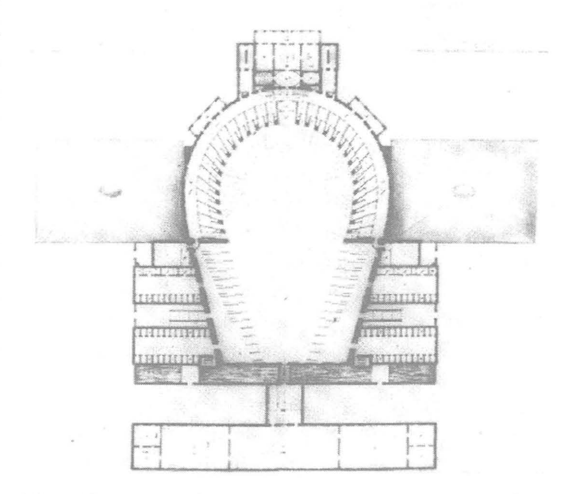


Figura 3
Beccega, T. C., Planta de un teatro, en Tamburini, E.: *Il luogo della trattatistica italiana dell'800. Dall'utopia giacobina alla prassi borghese*. Roma, 1984

Su proyecto se contrapone al de Patte, de quien critica la poca atención dirigida a la forma, puesto que, según él, la finalidad del proyectista debe conciliar forma y funcionalidad.

Aquel que persigue como objetivo la recuperación de lo clásico con sus tonos al mismo tiempo esenciales y austeros, temas sobre los cuales se discute en este período, es Paolo Landriani, arquitecto y escenógrafo.

En las *Osservazione sui difetti prodotti nei teatri dalla cattiva costruzione del palcoscenico...* y en las *Osservazioni... sulle scene teatrali sì antiche che moderne*, ejemplifica sus concepciones teatrales. Aconseja una escena amplia, pero proporcionada, lleva a seis el número máximo de bastidores, propone una iluminación atenuada y en el uso de la perspectiva emplea por lo general líneas rectas, alejadas de los modelos precedentemente adoptados de fugas llevadas al infinito y de las representaciones escorzadas.

Habla también de escena *sofitada*[7] y *parapetada*;[8] en esta última, se da cuenta de que no puede tener dimensiones notables y busca una solución para una precisión de perspectiva, recurriendo a otros medios. Sus perspectivas, en efecto, no teniendo fugas alejadísimas o trozos escalados violentamente, no necesitan grandes inclinaciones en el escenario, de modo que las fija en 1/8 de su longitud. En los teatros de Landriani cada cosa encuentra respuesta concreta con exigencias precisas y en este sentido es muy significativa la posición del punto de vista:[9] es alta la concepción del hombre, pues sustituye la única visual del príncipe con la fruición colectiva.

Experimentar siempre medidas nuevas para el perfeccionamiento de la perspectiva induce inconscientemente a Landriani a criticar el sistema de perspectiva lineal, postura común para los otros investigadores del siglo XIX. Intenta superar la diferencia que existe entre imagen visual y representación de perspectiva, adecuando tres niveles de lejanía en las escenas; y todo ello indica el deseo de equilibrio entre el aspecto de verosimilitud y el método exacto.

En la construcción de perspectiva se refiere a la planta y, reconociendo sus dificultades, adopta simplificaciones, recurriendo al método que aprovecha los puntos de distancia. El escenógrafo es aconsejado por él en la adquisición de técnicas adecuadas a la representación escenográfica y el arquitecto tiene que referirse constantemente a él. Landriani aún definiéndose en primer lugar escenógrafo y viendo en esta figura la mediación entre el arquitecto y el espectáculo, no tiene en cuenta para nada la figura del actor, pues lo ve solitario, independiente de su profesión, de modo que no respeta aquella relación de interrelación que debería subsistir entre actor y escenógrafo.

Lo que piensa Landriani está expresado claramente en la restauración del teatro *diurno*; en este teatro clásico, subraya las dificultades que derivan de la posibilidad de adaptarlo a las exigencias actuales. En efecto, esta idea dará vida a un teatro completamente transformado con respecto a su origen; después de su intervención, resultará cubierto y la luz diurna entrará sólo a través de un gran ventanal colocado en alto, en el fondo de la sala rectilínea, frente al proscenio también recto. Landriani se acerca mucho a las ideas de Patte por el interés dirigido a la funcionalidad, pero se aparta en lo que respecta a la importancia que atribuye a la elipse, como hemos dicho, considerada como la figura geométrica por excelencia, capaz de garantizar una acústica perfecta; por lo tanto, contrapone como ejemplo la Scala de Milán, *uno de los más sonoros* teatros en donde a pesar de no haberse adoptado dicha forma y, al estar los palcos divididos entre ellos por parapetos adornados con decorados y cortinas, en conformidad con las ideas funcionales de Patte, la sonoridad, quedaría afectada cosa que no se verifica en la realidad.

Además Landriani atribuye la razón de dicha sonoridad a la bóveda curva y lisa que con mucha facilidad logra la refracción de la voz *como la tabla armónica de un clavicordio.*

Esta tesis se afianza en un soporte técnico ofrecido por Niccolini, que ya había estudiado los problemas de refracción de los teatros y muestra acordando con él en querer atribuir mayor importancia a la bóveda, en la definición de las características técnicas y formales necesarias para el teatro, más que a la forma de la sala, tema predominante en el siglo precedente.

Estas teorías, al no ser demostradas científicamente de modo suficiente, quedaron abstractas y, como tales, hicieron dirigir nuevamente la mirada hacia la forma de la sala, para la cual Landriani propone la curva en forma de *herradura* algo modificada: *una curva compuesta por un semicírculo, que continúa en los lados con otras dos, que a su vez tienen su centro alejado dos veces el diámetro del primer semicírculo, colocado en la línea prolongada por el*

mismo diámetro. Como mencionaba antes en lo que se refiere a las problemáticas de la sonoridad de los teatros, Niccolini que trabaja sobre todo en Nápoles, donde se le recuerda por la restauración realizada en el San Carlo;[10] desarrolla su teoría en su escrito: *Alcune teorie sulla risonanza del teatro*. Su obra está estrechamente enlazada con las teorías de Patte para resolver los aspectos técnicos; pero mientras que Patte se basa en la abstracción, él se basa sobre la investigación científica. Niccolini, define el teatro moderno como *montón de incoherencias*, puesto que está continuamente manipulado para obtener una respuesta económica y por tal motivo se sustituyen a *la solidez, a las proporciones, y a la majestad del orden*; y para aumentar los sitios para los espectadores se crean *palcos sobre palcos* y *hundiendo la platea* se obtiene un *recinto angosto, nada elegante, inseguro e insalubre, que no parece un teatro sino una colmena*. Niccolini presenta una serie de motivos, por los cuales los teatros no ofrecen una buena acústica y que no se deben buscar, según él, en la forma, en las dimensiones ni en los materiales de la sala, sino en el tamaño del escenario y la continuidad de la bóveda.

En efecto, señala cómo en distintos casos tanto en la escena como en la platea el aire se enrarece, en la primera por efecto de las luces y en la platea debido a los espectadores.

Para que no se cree equilibrio entre los dos ambientes, propone que el primero, es decir la escena, sea necesariamente más grande que el otro; y dé lugar a una corriente capaz de propagar el sonido. Subraya que el techo bien construido —con una distancia del suelo igual a su anchura y sin interrupciones, puede evitar el peligro de una acústica mala. Otro defensor de las teorías de Patte es seguramente Francesco Taccani que trabaja en Milán. Sus ideas sobre cuestiones que se refieren al teatro están expuestas ampliamente en sus escritos sobre todo en *Geometria descrittiva ad uso degli artisti, che contiene la delineazione geometrica y e prospettica degli oggetti e l'arte di ombreggiarli* (figura 4).

En particular, se consideran los métodos a disposición para la construcción en perspectiva, su aplicación en la escenografía y, por último, el teatro como edificio en sí.

Sus teorías son ya bastante maduras en comparación con las ideas de Landriani, con el cual todo el que trabajara en Milán en este sector se tenía que confrontar, asume posiciones bien precisas, volviendo a colocar por ejemplo el punto de vista en la posición central con respecto a la sala; sin embargo, concuerda con Landriani al considerar el sistema de perspectiva tradicional poco exacto y en este caso será tarea del pintor restablecer las proporciones justas. Todo esto perjudica la validez de un método basado esencialmente sobre la precisión en volver a proponer la realidad, pero el verdadero aporte de Taccani se basa sobre la *proporción constante* entre los actores y la perspectiva de las escenas; cosa que otros investigadores no tienen en cuenta, sino que piensan lo contrario.

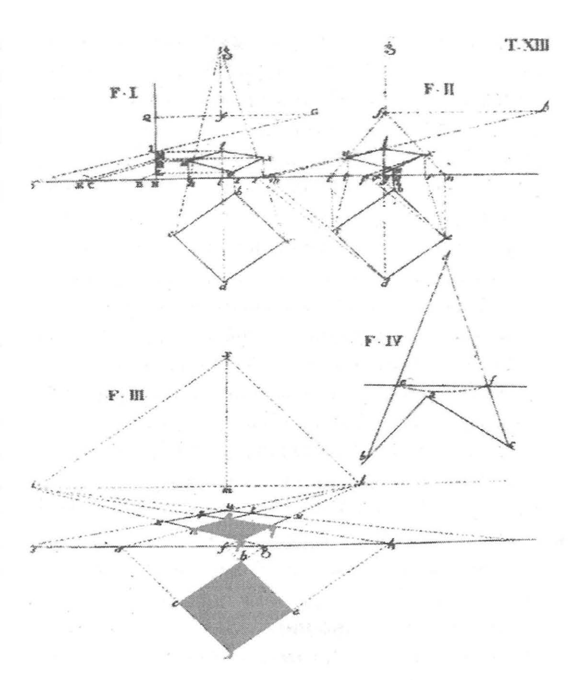


Figura 4
Los tres métodos de la perspectiva: para «pianta e profili» para «punti di distanza» y para «punti di concorso», en Taccani, F.: *Geometria descrittiva ad uso degli artisti, che contiene la delineazione geometrica e prospettica degli oggetti e l'arte di ombreggiarli*. Milano, 1840

Completamente revolucionaria es una nueva idea: la perspectiva antes bicentrada sobre la desproporción entre actores y escenografía llegando a ignorar la causa y que tiende a perfeccionar la escena bidimensional, a partir de la crisis del sistema de perspectiva lineal ofrece la posibilidad de abrir las puertas a nuevos sistemas de representación con la escena tridimensio-

nal. Acerca de la forma que se debe dar al teatro, Taccani parte de una postura empírica y llega a una serie de nociones basadas sobre la experiencia, mientras que para la acústica se refiere al tratado de Ernest Florens Friedrich Chladni *Die akoustik..., Leipzig, Breitcof-Hartel, 1802;* busca la definición de refracción de sonido en el *Diccionario* y *bibliografía de la música* de Pietro Lirchtental de 1824; y llega a la conclusión de que el área sirve no sólo como vehículo para el sonido en los instrumentos de cuerda, sino que es también cuerpo sonoro y vehículo en los de viento. Según esta afirmación, por lo que concierne a la forma que se debe dar al teatro, ante la incompatibilidad de poder asignar una adecuada para ambos, elige la forma que puede soportar la voz del cantante, la cual, para él, necesita más que ninguna otra fuente de sonido una amplificación: ésta se propaga, formando un cono con el vértice dirigido hacia la boca. Por lo tanto, el local en el que se canta tiene que seguir esa forma y de ello se deriva una forma oval trunca, que partiendo de una forma ancha desde la platea se va estrechando tanto lateralmente como en su altura hasta llegar estrechada al proscenio. Además, Taccani no considera como única solución que se debe adoptar, (para obtener una acústica perfecta), una figura cualquiera regular que siga el techo. Critica también la postura de Patte sobre la elección de los materiales, y en efecto en lugar de los elásticos prefiere los rígidos, resistentes, para no favorecer de este modo algún tipo de dispersión del sonido. Por lo tanto prefiere que todo sea realizado con muros. Una serie de criterios se ponen de relieve para reducir la distancia entre escena y platea, aconseja la exclusión de los palcos del proscenio, pues resulta estrecho, como ya hemos visto; así como el retranqueo del mismo hacia la escena y que se adelante la orquesta hacia el área, que antes era del proscenio. Con esta serie de medidas no hace más que restringir el campo de acción del actor en el interior de la escenografía, creando un todo con la misma. Con el tratado *Lezione di prospettiva pratica e regole abbreviatrici per disegnare le scene, seguite da un facile, metodo per la prospettica collocazione delle figure ne' quadri di storia* Francesco Cocchi sigue con los consejos sobre la forma apropiada de construcción para la perspectiva. En su tratado esencialmente didáctico señala tres puntos: un método para realizar la planta; un primer método basado sobre los puntos para trazar la perspectiva; un segundo método o regla abreviadora.

Este último, que procede por puntos de distancia, es el mismo empleado por Landriani y Taccani, aunque resulte mayormente simplificado. Pero él no menciona para nada las dimensiones, y la inclinación que debería tener el escenario, sino que se limita a brindar consejos adaptables a todos los teatros. Confirma la función de manual asignada al tratado, en el que el aspecto empresarial se vuelve cada vez más importante. Con Cocchi se concluye el largo tema iniciado en el siglo XVII sobre la perspectiva, la cual queda disminuida, el sistema técnico lineal cede su lugar a otro método fundado ya no sobre el punto principal, sino sobre el cuadro; sólo en el 1891, con Fiorini, la perspectiva es automatizada valiéndose de un instrumento tecnológico, el proyector de visualización de perspectivas.

Aunque todo ello parece una paradoja en un período en el que se busca la evolución, marca inevitablemente la caída de la escena arquitectónica-ilusionista, por deseo del público burgués, que quiere escenas cada vez más verosímiles.

El teatro de la región de Los Abruzos en el siglo XIX en el contexto cultural europeo y nacional

En concomitancia con las construcciones de teatros en las grandes capitales europeas, también en Los Abruzos nacen nuevos edificios destinados a las representaciones, así como son reestructurados, ampliados y embellecidos los que ya existían, expresando de este modo las poblaciones abruzas su propia vivacidad espiritual a través de su atávica afición al teatro. Incluso en esta época el teatro forma parte de la planificación organizativa del arte y de la cultura, de modo que, de raro y magnífico, asociado a la grandeza de un príncipe, de una oligarquía o de una familia noble, se transforma en instituto de la vida civil y se vuelve por doquier una necesidad social del organismo urbano, llegando a que Francesco Milizia afirme: *aquella ciudad que carece de él, es considerada una ciudad mezquina.*

Muchos son los encargos de nuevos teatros, que se configuran como expresión social mixta: Pública, porque está abierta a la colectividad; privada, porque está sostenida por un conjunto de individuos. Además, en el marco estrechamente cultural, los debates acerca del teatro que se desarrollan en el plano na-

cional en los mayores centros, se conciben también en los contextos culturales poco emergentes de la tierra abruza, pero sensibles a las novedades intelectuales. En realidad en la región, en particular en Téramo, Vasto, Chieti, y Aquila se registra una activa participación en aquella fase cultural que acompaña los acontecimientos históricos, que siguen la suerte del Reino de Nápoles. Y, así, diversos decuriones, después de la invasión francesa de Los Abruzos entre 1798 y 1815, aprovechando el abandono de algunos edificios subvencionan teatros comunales, algunas veces ayudados e impulsados por personas acomodadas. No es casualidad el hecho de que los teatros abruzos, aún inspirándose en el gusto neoclásico dominante en la tipología teatral del siglo XIX, se enlazan con la cultura celebrativa borbónica. Hasta poco tiempo antes se habían seguido ideas y tendencias así como inflexiones umbriano-marquesanas e incluso toscanas, luego se verificaron intensas relaciones con el ambiente romano, para ver después, a comienzos del siglo XIX, que el ambiente napolitano se afianzaba en casi toda la región de Los Abruzos. Se interpelan arquitectos importantes regionales y no regionales, para poder ofrecer interesantes estructuras teatrales respetando las capacidades técnicas, de escena, de acústica y de visión dignas de los más grandes teatros como La Scala de Milán o el San Carlo de Nápoles. También los pequeños centros ven la institución de los teatros como signo de prestigio. La actividad teatral conoció profundas transformaciones sobre todo institucionales, los espectáculos se revolucionaron, cambiando el repertorio, las técnicas evolucionaron, se introdujo el director de escena y los actores mejoraron su preparación académica. El éxito de público es alcanzado, no por el teatro de prosa sino por el lírico, adecuando así a las necesidades de escena también las estructuras. La región de Los Abruzos se presenta en el siglo XIX como un conjunto de tres provincias: Abruzo Ulterior I, Abruzo Ulterior II y Abruzo Citra (figura 5).

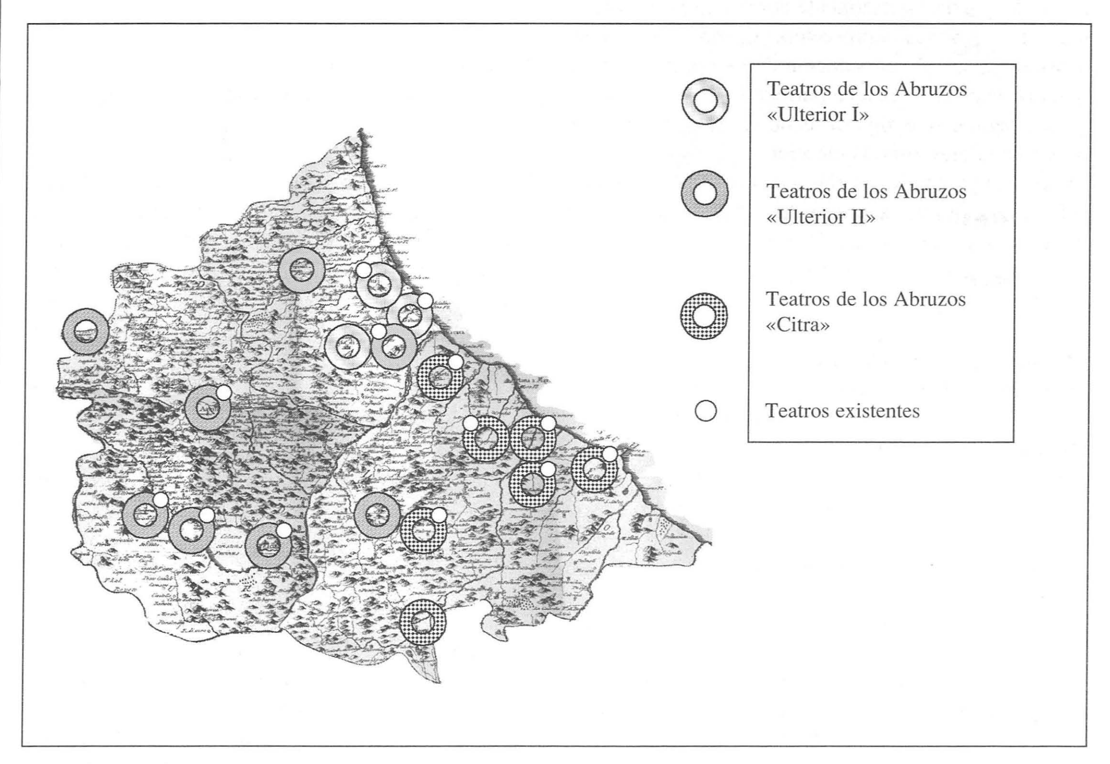


Figura 5
Región de Los Abruzos en el siglo XIX (Ulterior I; II; Citra)



Figura 6a
Aquila, Teatro Comunal, faciada principal

Figura 6c
Aquila, Teatro Comunal, planta, primer nivel

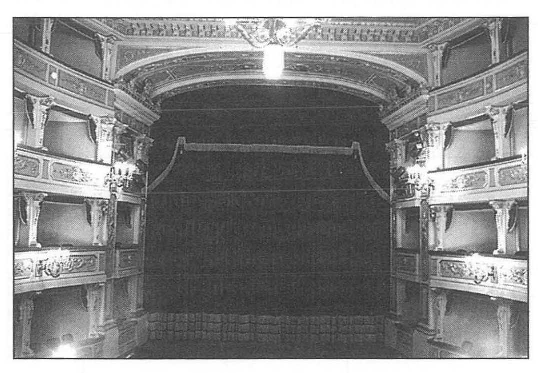


Figura 6b
Aquila, Teatro Comunal, proscenio y palcos

CLASIFICACIÓN DE LOS TEATROS DE LA REGIÓN DE LOS ABRUZOS EN EL SIGLO XIX

Teatros de la región de Los Abruzos «Ulterior I»

Teramo	teatro municipal inaugurado en 1868
Atri (TE)	teatro municipal inaugurado en 1881
Città Sant'Angelo (PE)	teatro municipal inaugurado en 1856
Loreto Aprutino (PE)	teatro municipal (s.d.).
Penne (PE)	teatro municipal inaugurado en 1823

Teatros de la región de Los Abruzo «Ulterior II»

Aquila	teatro municipal (s.d.)
Leonessa (AQ)	teatro municipal (s.d.).
Sulmona (AQ)	teatro municipal inaugurado en 1874
Pescina (AQ)	teatro San Francesco (s.d.)
Avezzano (AQ)	teatro Ruggeri (s.d.)
Tagliacozzo (AQ)	teatro Talia inaugurado en 1888

Teatros de la región de Los Abruzo «Citra»

Lanciano	teatro Fenaroli inaugurado en 1847
Vasto	teatro Rossetti inaugurado en 1841
Castell di Sangro	teatro comunal inaugurado en 1870
Palena	teatro Aventino inaugurado en 1848
Orsogna	teatro Frentano inaugurado en 1879
Atessa	teatro comunal inaugurado en 1891
Chieti	teatro Marrucino inaugurado en 1861

NOTAS

1. Cfr. Boullée, E.L.: *Architecture. Essai sur l'art*. En Rossi A., *Saggio sull'arte*. Marsilio. Padova, 1967.
2. «Il solo modo in cui gli artisti devono intrattenersi fra loro, è quello di richiamare con forza e con energia ciò che risveglia la loro sensibilità; e con questa capacità di attirate l'interese che possono stimolarsi e riscaldare il loro genio. Si guardino dall'entrare in spiegazioni troppo razionali, perché l'impressione de una immagine sui nostri sensi si affievolisce se ci soffermiamo troppo sulla causa che produce l'effetto. Discutere dei propi piaceri è cessare di vivere il loro dominio, è cessare di goderne, è cessare di esistere». Boullèe, E. L.: Architecture... *op. cit.*

3. «L'erudizione, questa sovrana inamidata, conduce raramente al delirio felice». Ledoux, C. N.: *L'Architecture considérée sous le rapport de l'Art, des Moeurs et de la Législation...* en Tamburini E., *Il luogo teatrale nella trattadistica dell'800*, Buzzoni, Roma, 1984, p. 12
4. La elección de la elipse, al parecer, no es una idea de Patte. Ya en 1642, el jesuita boloñés Mario Bettini de un grabado tomado de la obra *Apiaria Universae Philosophiae Mathematicae* postula la propagación elíptica del sonido y la adopta para su teatro.
5. Ferrario, G.: *Storia e descrizione de' principali teatri antichi e moderni*. A. Forni. Milano, 1830.
6. Vitruvio, P.: *I Dieci Libri Dell'Architettura*, Polifilo, p. 259.
7. «Soffittate chiamasi tutte quelle scene che sono composte di un telone di prospetto e di altre tele congiunte co' telari a guisa de soffitte o in altra forma, che chiamarsi ancora col nome di rompimento». Landriani, P.: *Osservazioni sui defetti prodotti nei teatri dalla cattiva costruzione del palcoscenico*. Cesarea regia, Milano, 1815; parte I, p. 42
8. «Scene parapettate chiamasi quelle decorazioni che sul palcoscenico vengono formate con soli telari uniti a foggia di parete, o poste in modo che secondino la struttura della pianta reale della scena medesima, alquanto però ristretta, ossia scortata dalla prospettiva, in quel dato spazio fissato dal pittore, o voluto dal bisogno della rappresentazione». Landriani, P.: *Osservazioni sui defetti...*, parte I, *op. cit.*, p. 15.
9. «All'entrare in platea ed all'affacciarsi alla scena, non tutte le decorazioni ci soddisfano, smbrandoci di vedere in esse delle linee che troppo precipitano o sono troppo pendenti in direzione opposta a quanto vediamo in natura più orizzontale; ma all'avvicinarsi che facciamo verso il poscenio, le linee ci vanno sembrando meno difettose, ed arrivati che siamo ad una certa distanza verso il mezzo della platea, troviamo la scena assestata al nostr'occhio con linee non più precipitanti ma aggiustate all'effetto e senza scorti troppo larghi o linee troppo inclinate. Questo accidente nasce dall'avere fissato il pittore a caso il punto di distanza nella scena, senza sapere se sio o no favorevole in qualunque distanza sia veduta la sua decorazione dalla platea, così veduta la scena fuori del suo punto, tutte le linee ci sembrano concorrere a dei punti precipitosi e finche non siamo arrivati al suo vero punto di distanza, noi non possiamo godere della prospettiva nella decorazione medesima; sarà suo primo pensiero di fissare in tutte le scene il punto di distanza all'entrata della platea, perché al primo affacciarsi che fa ognuno, e non potendo cambiare di luogo come succede, o vi resti per sua scelta, possa sino a quel punto godere l'effetto della scen senza alcuno di que' difetti che abbiamo indicati di sopra». Landriani, P.: *Osservazioni sui difetti...*, *op. cit.*, parte II, pp. 28-29.
10. Giannetti, A.; Muzii, R.: *Antonio Niccolini, arquitecto y escenógrafo en la corte de Nápoles (1808-1850)*. Electa Napoli. Napoli, 1997.

Aportación al estudio de los puentes romanos peninsulares: análisis de la capacidad de desagüe de varios puentes de Gallaecia

Manuel Durán Fuentes

Para saber cuál era el nivel de conocimientos que tenían los ingenieros romanos sobre el comportamiento hidráulico de los ríos a su paso por estas obras de fábrica y sus consecuencias, sólo podemos especular ya que ninguno de los tratados técnicos conservados, como *Los Diez Libros de Arquitectura* de Vitrubio,[1] las obras de Frontino[2] o las de Plinio el Viejo,[3] han abordado el tema. Hasta qué punto esta cuestión influía en el diseño de los puentes de aquella época, tampoco es conocida.

Para abordar el tema hemos analizado los conocimientos que hubo sobre la hidráulica del río y el puente en distintas épocas, contenidos en tratados de autores diversos, que nos han permitido apreciar el lento desarrollo que tuvieron en comparación con otros saberes del ingeniero. Hubo que esperar mucho tiempo para que la recogida sistemática de datos de los ríos y de la hidrometeorología de sus respectivas cuencas, así como el desarrollo científico, permitiese al ingeniero civil disponer de métodos y fórmulas, de carácter empírico, que le ayudaran a conocer, con una relativa precisión, el comportamiento del río durante sus crecidas y a mejorar, por tanto, el diseño de los puentes y su durabilidad.

Una vez realizado este análisis y llevando hacia atrás en el tiempo los resultados obtenidos, hemos planteado, a nivel de hipótesis, los posibles conocimientos hidráulicos existentes en época romana. Finalmente hemos intentado comprobar la validez de nuestras hipótesis analizando el comportamiento hidráulico de varios ríos de *Gallaecia*[4] a su paso por los puentes elegidos, y si éste pudo influir en sus diseños y construcción.

Desarrollo histórico de los conocimientos sobre el desagüe de los puentes

En el diseño de los puentes construidos «antes de los ingenieros», en palabras del profesor Jean Mesqui,[5] se empleaban, generalmente, determinadas reglas proporcionales o geométricas, extraídas de la experiencia constructiva de muchos años que hundía sus raíces en los grandes logros de la época romana. Durante el Medievo desapareció de la práctica normal la técnica y maestría que caracterizó a los constructores romanos, arrastrada por la decadencia de las ciudades y la «ruralización» de la sociedad (por lo menos hasta el siglo X).[6] Lo que de ella quedó se conservó y transmitió en el seno de cuadrillas de operarios constructores que se desplazaban por toda Europa allí donde sus servicios fuesen solicitados, al frente de los cuales se hallaba un maestro constructor, cantero o carpintero, que celosamente pasaba sus conocimientos a hijos o allegados más directos, generación tras generación.

Uno de los primeros tratados de esta época altomedieval, es el documento extraído del *Mappae Claviculae*,[7] titulado *Dispositio fabricae de pontibus*, que poco nos sirve para nuestro propósito ya que solo trata de la cimentación de los puentes.

Es a partir de los siglos X y XI cuando Europa recobra el impulso constructivo, gracias a muchos fac-

DATOS GENERALES DEL PUENTE				ALTURA DEL PUENTE		BOVEDAS DEL PUENTE			PILAS		CUENCA DEL RIO		VELOCIDAD DEL AGUA		PASO BAJO ARCADAS		PASO SOBRE LA OBRA	
Nombre	Río	Camino	Ciudad/País	Cauce-rasante	Cauce-intrados	Luces (m.)	Forma	RASANTE	Nº	Espesor (m)	Superficie(km^2)	Q500 (m^3/s)	Aguas arriba (m/s)	Aguas abajo (m/s)	Calado (m)	Gálibo libre (M)	Calado aguas arriba	Altura sobre la obra
P.San Miguel	Homen	Vía Nova, nº 18 del I. Antonino	Gerês Portugal	10.00	7.40	3,20-8,40 (*)	1/2 punto	Horizontal	1	6.7	16.70	115.20	2.45	6.64	4.45	2.95	xxx	xxx
P.de Pedro	Tuela	Vía nº 17 del I. Antonino	Torre de Dona Chama/Portugal	8.00	6.50	8,50-9,10-9,45	1/2 punto	Horizontal	5	2,50-2,50-2,55 2,85-2,35	586.00	1348.00	2.41	3.05	xxx	xxx	8.65	0.65
P.de Chaves	Támega	Vía nº 17 del I. Antonino	Chaves Portugal	6.20	4.10	6,25 (todos los arcos)	1/2 punto	Horizontal	15	Todos en torno a 1,90	940.00	1880.00	2.10	2.18	xxx	xxx	8.25	2.05
P.do Arquinho	Calvo	Vía nº 17 del I. Antonino	Poçacos Portugal	8.52	6.60	Un vano de 7,5	1/2 punto	Horizontal	xxx	xxx	103.00	412.00	1.95	2.91	xxx	xxx	9.7	1.18
P.Pedriña	Limia	Vía Nova, nº 18 del I. Antonino	Bande Ourense	15.00	13.50	14,70-3,12	Rebajado	Horizontal	1	7.4	830.00	1743.00	5.03	6.20	xxx	xxx	16.94	1.94
P.Freixo	Arnoia	Vía Bracara-Lucus	Celanova Ourense	9.00	8.00	4,73-7,78-7,70-y 4,74	1/2 punto	Horizontal	3	2,83-3,62-2,80	535.00	1284.00	3.28	5.63	xxx	xxx	12.05	3.05
P.Vella de Lugo	Miño	Vía nº 19 del I. Antonino	Lugo	9.80	7.00	6 de 10,4 y dos 6,70 y 5,50 (*)	1/2 punto	Horizontal	7	Todos en torno a 4,60	2303.00	3455.00	2.21	2.21	xxx	xxx	15.2	5.40
P.Navea	Navea	Vía Nova, nº 18 del I. Antonino	Trives Ourense	12.50	11.00	Un vano de 19 m (*)	1/2 punto	Horizontal	xxx	xxx	218.00	676.00	5.34	8.64	7.94	3.06	xxx	xxx
P.Bibei	Bibei	Vía Nova	Trives Ourense	25.40	23.50	6,05-18,60-8,70	1/2 punto	Horizontal	2	4,40-4,23	1255.00	2321.00	6.03	6.35	15.47	8.03	xxx	xxx
P.de A Cigarrosa	Sil	Vía Nova	A Rua Ourense	21.00	18.50	5-20-20-9,5 (*)	1/2 punto (2) y rebajados (2)	Horizontal	3	11,50-4,70 5,60	4594.00	5513.00	6.51	10.70	xxx	xxx	23.28	2.28
Os Pontos o A Pontoriga	Sil	Vía Secundaria	Sobradelo	25.80	23.00	12,80-13,40 - 24,80-8-6,40	1/2 punto	Doble pendiente	4	2,60-3,40-2,40 2.00	3800.00	4940.00	7.80	10.51	xxx	xxx	27.13	1.33

(*) Reconstrucción hipotética del puente

Figura 1
Cuadro resumen de las características constructivas y del desagüe de los puentes analizados

tores favorables, entre los que destacamos el desarrollo de nuevas tecnologías y formas constructivas como el arco apuntado u ojival, el empleo de fuentes de energía alternativas (la hidráulica), la aparición de los gremios y el renacer del fenómeno urbano. De esta época, comienzos del siglo XIII, se conservan los folios o «carnets» de Villard de Honnecourt,[8] experto arquitecto o/y constructor francés, en los que dibujó y comentó parte de los saberes y del pensamiento técnico de la época. A partir del siglo XII, se reinicia la construcción de puentes de forma notable, utilizándose más la madera que la piedra. Villard aporta un curioso diseño de un puente de madera, de unos 25 metros de luz, que, como dice el comentario anexo, «de este modo se hace un puente por encima de agua con piezas de madera de 20 pies de largo». El hecho de no indicar a qué altura debía ser construido parece señalar que los escasos conocimientos hidráulicos de la época no afectaban al diseño de estas obras, aunque es seguro que normalmente se dispusiesen por encima de la máxima avenida, pues este condicionante ya debió estar presente ya en la construcción de los primeros puentes de la Historia.

Durante la fase de proyecto de un puente en el Medievo, los maestros de obras solían discutir, casi exclusivamente, sobre sus relaciones geométricas, el lugar de implantación, el tipo de cimentación a ejecutar según el terreno y el modo de construirla. Parece lógico pensar que, previamente, se establecía la rasante de la plataforma por encima de las mayores avenidas que se tuviese recuerdo, pero no siempre ocurría esto pues se conocen casos donde la concreción del perfil longitudinal se realizó una vez construidas las pilas y los estribos. Según J. Mesqui, esta toma de decisiones según iba avanzando la obra era lo normal en este tipo de obras, pues la fase previa de proyecto, apoyada en la realización de bocetos o croquis, planos y/o maquetas, era de poca importancia, sobre todo en las obras grandes, y se limitaba prácticamente a cuestiones constructivas y financieras. Hay que esperar al siglo XVII para que se tengan en cuenta otras cuestiones, como las hidráulicas, y para que se representen en los planos de proyecto algunos detalles como el nivel de las aguas normales y de las grandes avenidas.

Resumiendo, los maestros de obras medievales que construían puentes trataban, sin duda, de minimizar la obstrucción que ellos suponían en el cauce, para lo cual trataban de cerrar sus arcos por encima de la mayor avenida y a una altura que solo su experiencia les permitía determinar. Hacían uso de alguna recomendación muy extendida, como aquella que propugnaba construirlos con un número par de pilas para que ninguna de ellas se construyese en medio del cauce, de que la obra no fuese, a ser posible, esviada con respecto a las líneas de corriente principales o la que aconsejaba construir un único arco, el más grande que se pudiese y a una buena altura en aquellos lugares, sobre todo montañosos, donde pudiesen producirse crecidas torrenciales.

Durante el Renacimiento se publicaron diversos tratados, sobre todo de arquitectura, en los que se hallan recomendaciones sobre la disposición y la construcción de puentes, ya que en aquella época las obras públicas estaban incluidas en el ámbito de la arquitectura. Uno de los autores más conocidos es

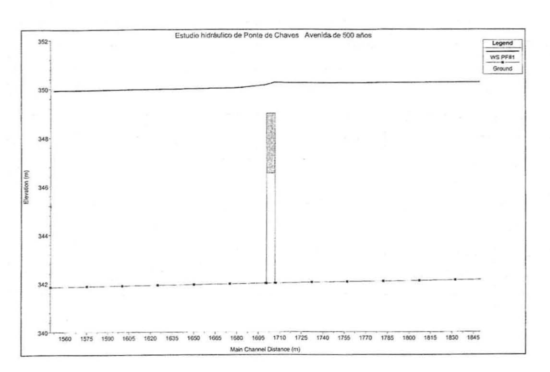


Figura 2
ponte de Chaves

León Battista Alberti,[9] que escribió el tratado *De Re Aedificatoria,* dispuesto en diez libros (parece que fue casual que coincidiese con Vitrubio en el número de libros de sus respectivas obras), que presentó al papa Nicolás V en 1452. Trata de los puentes en una parte del libro IV, en concreto en el capítulo VI, donde da algunas normas para su ubicación, composición y construcción. Recomienda su implantación en lugares cómodos y fáciles «que no ocasione un gasto exorbitante y haya perspectivas de que vaya a mantenerse en pie de por vida. En consecuencia habrán de buscarse vados que no sean demasiado profundos, ni de orillas cortadas, ni inseguros, ni de suelo inestables, sino nivelados y firmes»[10]. En las orillas tendrán paredes rocosas o ser sólidas para «afirmar las cabezas del puente», ya que los estribos deben «resistir el empuje de las cabezas del puente, de los arcos para evitar que se rajen». El río en la zona elegida no debe tener ni remolinos ni estar en un recodo donde se acumulen «... los residuos, los troncos y la maleza que han sido arrancados de los campos en época de aluviones, ...», ya que obstruyen los arcos y el agua se acumula, asciende y ejerce una tremenda presión que termina por arruinar el puente.

En cuanto a su composición, escribe que el número de pilares debe ser par —por tanto el de arcos será impar— ya que «resultan agradables a la vista» y evita construir en el centro del río, para que la corriente discurra «más rápida y con más fuerza», sin que afecte a su estabilidad, por lo que se construirán en zonas «por donde las aguas discurren más contenidas».

Para su construcción da oportunas instrucciones de como debe realizarse la cimentación de las pilas, resaltando que las aguas atacan más el lado aguas abajo («la popa de la pila»), donde «se ven remolinos de gran profundidad», que requerirá la adopción de especiales precauciones. Las pilas se deben construir con piedras grandes y de buena calidad, en sillares escuadrados grapados con piezas de cobre; «se le dará a la obra la altura adecuada, con la proa y la popa en ángulo y el vértice sobrealzado, hasta que la parte frontal de los pilares quede por encima incluso del nivel de las crecidas». A continuación propone unas reglas de diseño proporcionales del ancho de la pila y de la luz de los arcos, en relación con la altura del puente (la luz del arco tendrá entre 4 y 6 veces el espesor de la pila y éste / de la altura del puente) y del espesor de las dovelas de las arcadas (1/10 de la luz). El mejor arco es el de medio punto pero si su altura es excesiva «nos serviremos del rebajado, tras haber reforzado mucho los estribos de las orillas dotándolos de un mayor espesor».

Las normas y reglas geométricas de diseño de Alberti fueron, con pequeñas variaciones, las más empleadas y copiadas hasta el siglo XVIII. Las podemos ver recogidas parcialmente, cuando no copiadas literalmente, en el tratado de *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas,* estudiado y publicado por José A. García-Diego.[11] Es un tratado de *Architectura hydraulica,* escrito a finales del XVI y atribuido, en un principio, a Juanelo Turriano aunque posteriormente el historiador Nicolás García Tapia consideró al aragonés Pedro Juan de Lastanosa como su autor. Todavía existen discrepancias en torno a quien fue en realidad el autor, pero no parece haber duda de que nació o vivió en Aragón, tras los recientes estudios filológicos realizados del texto.[12]

El tratado está dividido en veintiún libros, tres de los cuales, los iniciales de la serie, tratan sobre el agua y sus propiedades. En el libro primero explica el ciclo del agua y como se forman los ríos por la acumulación de las aguas que brotan de las fuentes, después de estar almacenadas «debajo de la tierra» y «que algunas dellas se ajuntan de las aguas que llueve, y alguna otra se engendra de las exhalaciones, y alguna otra agua viene de la mar y parte de los ríos». El libro sexto trata de los modos de canalizar las aguas de las fuentes y de los acueductos —los «aguaductos», «maripuentes» o «gallipuentes»— , que no supone, sino lo contrario, avance alguno con respecto a la época romana, que reproduce en numerosos casos. Para «passar una fuente por ençima de algún

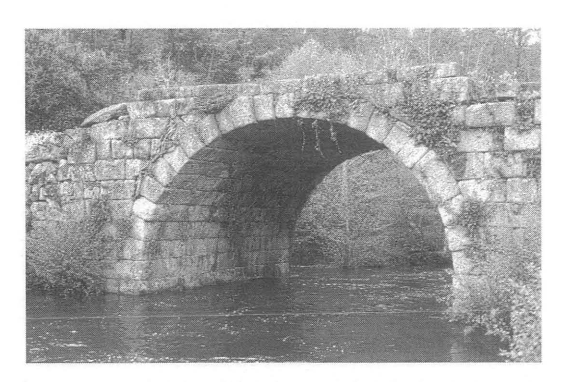


Figura 3
Ponte de Arquinho

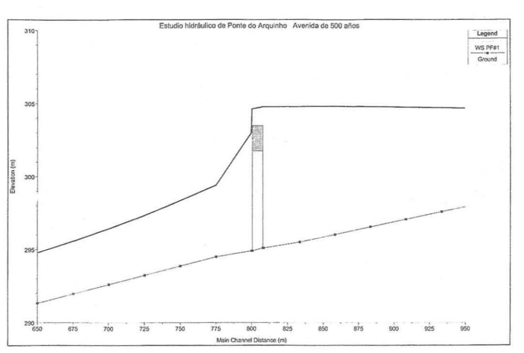
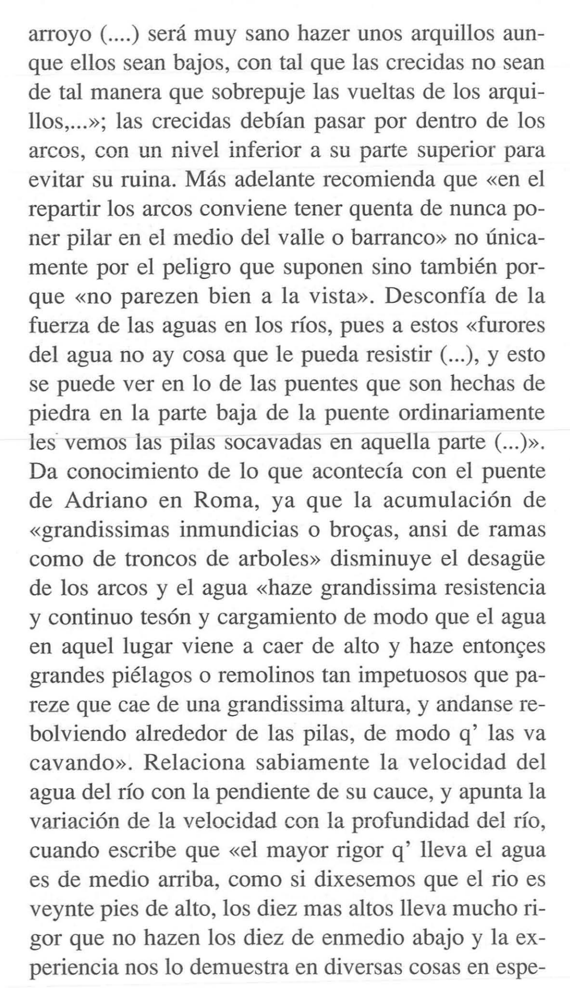


Figura 4
Ponte de Arquinho



arroyo (....) será muy sano hazer unos arquillos aunque ellos sean bajos, con tal que las crecidas no sean de tal manera que sobrepuje las vueltas de los arquillos,...»; las crecidas debían pasar por dentro de los arcos, con un nivel inferior a su parte superior para evitar su ruina. Más adelante recomienda que «en el repartir los arcos conviene tener quenta de nunca poner pilar en el medio del valle o barranco» no únicamente por el peligro que suponen sino también porque «no parezen bien a la vista». Desconfía de la fuerza de las aguas en los ríos, pues a estos «furores del agua no ay cosa que le pueda resistir (...), y esto se puede ver en lo de las puentes que son hechas de piedra en la parte baja de la puente ordinariamente les vemos las pilas socavadas en aquella parte (...)». Da conocimiento de lo que acontecía con el puente de Adriano en Roma, ya que la acumulación de «grandissimas inmundicias o broças, ansi de ramas como de troncos de arboles» disminuye el desagüe de los arcos y el agua «haze grandissima resistencia y continuo tesón y cargamiento de modo que el agua en aquel lugar viene a caer de alto y haze entonçes grandes piélagos o remolinos tan impetuosos que pareze que cae de una grandissima altura, y andanse rebolviendo alrededor de las pilas, de modo q' las va cavando». Relaciona sabiamente la velocidad del agua del río con la pendiente de su cauce, y apunta la variación de la velocidad con la profundidad del río, cuando escribe que «el mayor rigor q' lleva el agua es de medio arriba, como si dixesemos que el rio es veynte pies de alto, los diez mas altos lleva mucho rigor que no hazen los diez de enmedio abajo y la experiencia nos lo demuestra en diversas cosas en especial en las pilas de las puentes que nunca se gastan a rayz del suelo del rio mas gastanse mas donde toca la superficie del agua, ...».

En los libros quince y dieciocho escribe sobre los diversos tipos de puentes, como los provisionales, en los que se emplean distintos elementos de flotación como barcas, odres hinchados y toneles, y los puentes de madera fijos, para cuya construcción da una serie de consejos para el desagüe, la mayor parte extraídos del tratado de Alberti. En primer lugar la implantación del puente debe hacerse en una zona «...que sea muy cómodo a todos...», ancha y que en sus proximidades haya una vado y que «el agua vaya mansa,...,no tenga remolinos ni que aya grandes poços».

Los puentes pueden ser de madera o de piedra, teniendo especial cuidado en los primeros ya que el agua de las crecidas no debe llegar a las estructuras de madera de la plataforma, pues si así fuese «sería un daño muy manifiesto». Para la construcción de las pilas de los puentes de piedra también aconseja buscar una buena cimentación «pudiendo hallar tal asiento y q' ello sea de peña». En cuanto a la disposición escribe, siguiendo a Alberti, que «los arcos siempre se deven hazer nones y no pares al reves de las pilas, ...» pues así «... jamas ninguna viene en el medio del rio...». El arco central debe ser de mayor tamaño pues permite el paso de los arrastres, ya que se evita obstruir el río allí donde es más profundo, y es más fácil cimentar las pilas centrales. El resto de las pilas deben construirse en aquellos lugares «donde el agua sea mas mansa».

Aconseja que «la obra ha de ser levantada en alto por amor de las cresçidas de los ríos». Los arcos han

de ser de medio punto, «... que es el mas fuerte de todos...», pero debe rebajarse («arco de punto hurtado») cuando el arco es muy grande con respecto a la altura de la pila. En cuanto a las reglas geométricas de composición reproduce las que estableció Alberti un siglo antes.

Como se aprecia en estos dos tratados apenas hay avances en los conocimientos hidráulicos de las avenidas, con respecto a los que tenían, muy probablemente, los maestros de obras del Medievo; pero es a partir de esta época cuando la hidrodinámica y la hidráulica experimentan un gran desarrollo, entre otras razones, por la aparición de los ingenieros del rey, distintos pero muy próximos a los arquitectos, especialistas en las diversas «artes» de la guerra —construcción de fortificaciones, máquinas de guerra, desarrollo de la artillería, etc. —en la mecánica, y en hidráulica, que tendrán un papel fundamental en la construcción de las obras públicas.[13] La existencia de estos técnicos especializados en los aspectos hidráulicos de las obras y la toma de conciencia que los puentes debían tener el suficiente desagüe que permitiese el paso de las grandes avenidas bajo sus arcos (por ejemplo el ministro francés Colbert en 1679 da instrucciones al ingeniero Poictevin para que se tomen las mayores crecidas de los últimos 15 años, no la última que se tuviese noticia provocó que la construcción de puentes, como la de canales y caminos, derivase, a lo largo del siglo XVIII, hacia el ámbito de la ingeniería, que se consolidó como un nuevo arte constructivo más especializado, abandonando, progresivamente, la esfera de la arquitectura.[14] Este proceso se manifiesta primeramente en Francia desde la segunda mitad del siglo XVII, bajo la autoridad del citado Colbert que organiza un cuerpo facultativo de ingenieros al servicio de la administración del estado. En un proceso de mayor presencia e intervención, los ingenieros serán los encargados, a partir de entonces, de la redacción de los proyectos, más normalizados y detallados, consiguiendo con ello facilitar el proceso de adjudicación, disminuir el coste y mejorar la calidad de las obras públicas. El mayor nivel de los conocimientos teóricos impulsados por la creación de estos nuevos cuerpos de facultativos y por las escuelas politécnicas que los formaban, mejoró el que se tenía de la hidráulica de los ríos y el puente, aunque habrá que esperar más de un siglo hasta que se obtengan algunos modelos y fórmulas que permitan calcular la sección ideal de desagüe de las obras de fábrica.

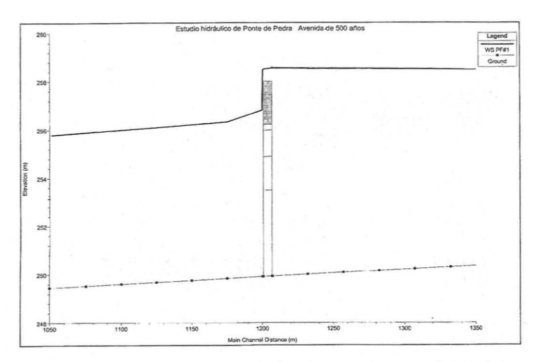


Figura 5
Ponte de Pedra

Fue en 1714 cuando apareció el primer tratado específico sobre construcción de puentes, escrito por el francés Henri Gautier que lo tituló expresamente *Traité des ponts*.[15] En el capítulo IV escribe sobre los proyectos que, según este autor, deben comenzar con la realización de los planos de planta y alzado, marcando el lugar de construcción, las orillas y los caminos o calles que llegan al puente. Se dibuja el puente elegido, ya sea de piedra o de madera, con el número de arcos y de pilas que se determine, con su eje longitudinal ortogonal a la corriente del río, evitando los esviajes ya que dificultaba el corte y la talla (estereotomía) de los sillares de la fábrica. A continuación, una vez fijado sobre el terreno el lugar elegido para la construcción del puente y su eje longitudinal, se realizarán los sondeos que permitirán conocer y dibujar el perfil transversal del cauce.

El proceso continúa con el estudio de la consistencia del terreno mediante las oportunas penetraciones de taladros metálicos o pilotes de madera, para conocer el plano de cimentación y poder elegir su tipo.

Por las informaciones de los vecinos del lugar elegido se conoce la altura de las mayores inundaciones de las que tuviesen recuerdo, que también se refleja en los planos del proyecto. Informados de la cantidad de agua que trae el río en época de crecidas, aconseja hacer los arcos lo suficientemente grandes para poderlas contener, trazándolos de modo que el intradós de las bóvedas en la clave debe estar tres pies por encima de la cota de la mayor avenida. Es deseable que todos los arcos del puente cumplan esta regla mínima, pues hay casos que solo la cumple el arco central.

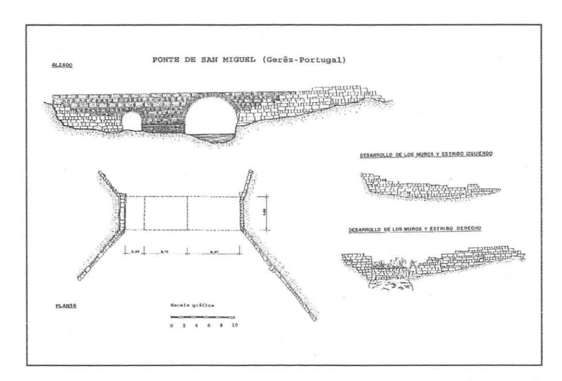


Figura 6
Ponte de San Miguel

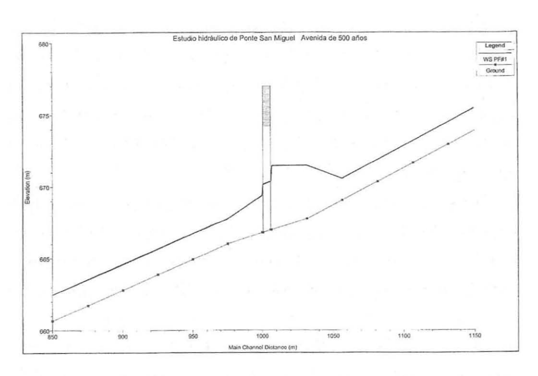


Figura 7
Ponte de San Miguel

Sigue Gautier precisando que «las pilas disminuyen la anchura del cauce del lecho ordinario de los ríos, lo que produce además que las aguas sean aceleradas bajo los arcos. Los ríos entonces excavan entre las pilas, bajo los arcos, de manera que profundiza su curso en función de lo que ha disminuido o quitado a su anchura». Aconseja no proyectar nunca puentes en lugares estrechos, «a menos que se puedan cimentar en roca y que se tomen precauciones extraordinarias». Establece, erróneamente, una relación inversamente proporcional entre la disminución del ancho del cauce por la construcción de las pilas y el aumento de la velocidad, es decir que si se reduce 1/5 la anchura del río, se aumenta la velocidad del agua 1/5 también, por lo que si se amplía la anchura total del puente en la misma proporción que la disminuye las pilas, no se aumentará la velocidad.

A pesar de lo precario y erróneo de estos planteamientos, vemos que ya hay algunos notables avances en los conocimientos hidráulicos. Por ejemplo ya plantea el hecho real de que el caudal de un río en un punto depende de la pluviometría de la zona, que ya por aquella época se empezaron a hacer observaciones y anotar las precipitaciones anuales en puntos como París, Saint-Malo o Lyon, expresándolas en alturas de agua (pulgadas y líneas de pie).[16] Los diferentes valores permitían, haciendo una media aritmética, obtener la pluviometría del territorio comprendido entre estas estaciones. Parte del agua caída es consumida por el viento, el sol, la tierra y las plantas, y el resto corre por los valles, arroyos y ríos, pasa por debajo de los puentes y termina en el mar. «Si se mide sobre un buen mapa la extensión del país que recoge todas las aguas que desaguan en el río sobre el cual se ha construido un puente...», se obtienen unas superficies, que para el Ródano en Lyon es de 800 leguas cuadradas y del Tíber en Roma de 1.100. Por este medio, continua escribiendo, sobre los mapas se verá la diferencia entre los diversos ríos y la mayor o menor cantidad de agua que pasa bajo los puentes. Si se cubica el agua al multiplicar la superficie de la cuenca por la altura de la lluvia registrada, se obtendrá la cantidad de agua anual que pasa bajo el puente, una vez que se le reste la que los vientos, el sol, las plantas, etc. pueden disipar.

Esta manera de calcular teóricamente la avenida de un río a su paso por un puente es correcta pero todavía imprecisa. Hoy sabemos que efectivamente el caudal está directamente relacionado con la superficie de la cuenca y con el coeficiente de escorrentía, que representa el porcentaje de agua, caída en forma de lluvia, que llega al puente. También es correcto el establecimiento de la relación del caudal con la lluvia, y así está reflejado en muchas fórmulas actuales que relacionan directa y proporcionalmente el caudal y la precipitación. Gautier alienta a la recogida de datos pluviométricos en todas las regiones del país, así como a la elaboración de una buena cartografía. Para Gautier estos nuevos planteamientos frente al problema del desagüe «parecen servir a una persona que proyecta un puente, para determinar la abertura de los arcos», aunque, reconociendo la dificultad de conocerlos de forma precisa, manifiesta a continuación, que no sean tenidas en cuenta en el diseño y en la construcción de los puentes, por ser solo curiosidades, y que el ingeniero cuente con el testimonio de los más ancianos del lugar que es más seguro.

En la bibliografía española del siglo XVIII hay un tratado específico sobre la llamada arquitectura hidráulica, escrito entre los años 1759 y 1768 por el P. Pontones. Lo tituló *Architectura hydraulica en las fabricas de puentes. Methodo de proyectarlo y repararlos. Instrucción a los maestros de quanto conviene saber para executar esta calidad de obras.*[17] Para este autor español el puente es un «camino sobre las aguas» que por la necesidad de resistir la acción persistente de las aguas, su construcción ofrece en la práctica mayores dificultades que la obras de arquitectura civil. Este tratado sin embargo no aportó nada nuevo al tema del desagüe, pues solo recomienda la aplicación de una «máximas preliminares»,[18] que ya antes las habían recogido otros autores. Recomienda el número impar de arcos y que la altura de las claves y los diámetros de los arcos de modo sean suficientes para desaguar las grandes avenidas evitando exageraciones y que, a ser posible, esta medida se aplique a todos los arcos y no sólo al central. Otras recomendaciones también dadas por el P. Pontones es que los salmeres se colocasen a nivel o algo más elevados que la altura media de las aguas, que los tajamares se levantasen, por lo menos, hasta el zócalo de los pretiles, y que los desaguaderos se ejecutasen cuadrados o circulares para aumentar el desagüe en «tiempos de las crecientes». Recuerda que el tamaño de las diferentes partes del puente será el necesario para resistir los esfuerzos pero también deberá ser el mínimo para que no ocluyan excesivamente el desagüe, cuestión que el P. Pontones zanja escribiendo que se resolverá conciliando estas dos circunstancias opuestas. Muestra su convencimiento de la bondad del engrapado y emplomado de los sillares para aumentar la resistencia de la fábrica frente a las riadas, a pesar de las críticas por su excesivo coste.

Suponemos que conocía las obras de Gautier, ya que ambos autores coinciden en muchas de las recomendaciones incluidas en sus tratados, sobre todo en aquellos párrafos donde instruyen sobre la forma de redactar los proyectos y cual debía ser el contenido de los mismos. También parece que conoció alguna edición de *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas,* por la misma razón, ya que recoge, por ejemplo, la misma disposición constructiva de ejecutar unos arcos invertidos en aquella cimentación que se quiera realizar corrida por la mala calidad del terreno.

Sus observaciones y estudios sobre la construcción de puentes le llevan a la conclusión de que «el arte de levantar estas fábricas si consultamos el que se ha practicado en muchos puentes antiguos y modernos le hallaremos tan vago, aventurado y de tantas maneras cuantas fueron las particulares ideas de cada maestro», palabras que reflejan los pocos conocimientos teóricos que sobre el diseño de puentes tenían los maestros de obras y los técnicos españoles del siglo XVIII, que exclusivamente basaban sus realizaciones en la práctica heredada y en sus propias experiencias.

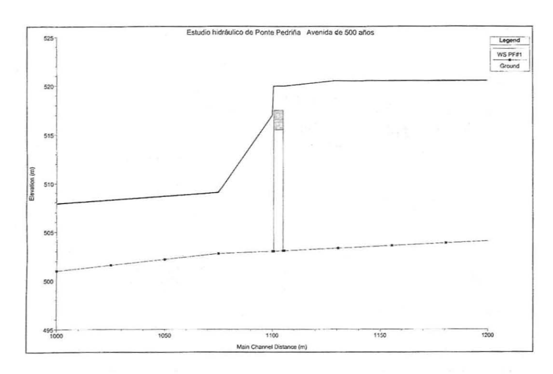


Figura 8
Ponte Pedriña

Aunque, como hemos visto, sobre el tema del desagüe de un puente apenas hallamos vagas referencias, no faltan, en cambio, otros libros que tratan abundantemente sobre hidrodinámica e hidráulica, en los que se exponen los avances teóricos y prácticos de otras obras, como los azudes y redes de regadío, los canales de navegación, las nivelaciones para la conducción de las aguas, y sobre todos las máquinas y artificios hidráulicos, que era la parte que más interesaba a los ingenieros.

Estas imprecisiones y falta de conocimientos teóricos que impedían el cálculo del caudal de las avenidas, todavía se mantenían a finales del siglo XIX y principios del XX. En 1888 el ingeniero francés M.E. Degrand escribía, con desaliento, en su obra «Ponts en maçonnerie»,[19] que no esperaba que los ingenieros llegasen a conocer de forma precisa la hidráulica del río en su relación con los puentes. Consideraba muy difícil saber, por ejemplo, las relaciones entre la superficie de la cuenca de un río y el desagüe de los puentes construidos en su recorrido, las condiciones de circulación de las aguas bajo los puentes, la formación y la propagación de las avenidas, el cálculo de sus caudales, etc., ya que, en opinión de Degrand,

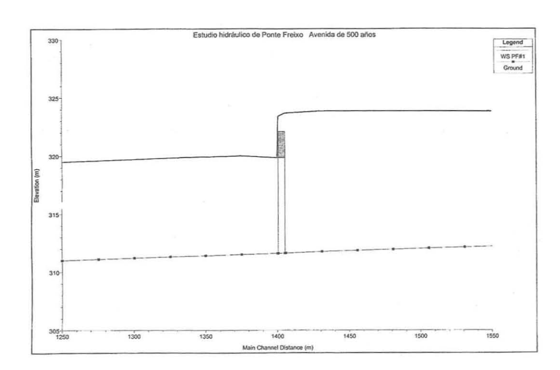


Figura 9
Ponte Freixo

son muchos y muy variables los factores a tener en cuenta, como la naturaleza y composición de los terrenos de la cuenca, la variedad de pendientes y su grado de permeabilidad, la forma del cauce, la situación de los afluentes y el volumen de sus aguas, la configuración del valle o valles cuyas aguas pueden verter y la influencia en la elevación del nivel de las crecidas por los remolinos producidos por un puente y sobre todo por los rellenos de los diques paralelos al río, etc.

Consideraba que la evaluación de estos factores era muy complicada ya que se presentan o pueden presentarse bajo múltiples combinaciones. A pesar de ello existían algunas fórmulas empíricas, recomienda su empleo con «extrema prudencia»,[20] ya que aplicándolas a casos concretos se obtuvo una gran dispersión entre el valor del desagüe real de un puente, reconocido como suficiente después de una larga experiencia, y el calculado por medio de alguna de estas fórmulas, como la de Navier, que permitía obtener el caudal en función la anchura del desagüe, la profundidad aguas arriba, la altura del remanso, un coeficiente de contracción por la presencia de pilas y estribos y la velocidad media de la corriente.

Medio siglo más tarde, a pesar de los continuos avances teóricos y prácticos de la ingeniería civil, los conocimientos hidráulicos de los ríos no habían avanzado gran cosa. El ingeniero Eugenio Ribera[21] refleja esta situación cuando escribe que «en todos los países ocurren hundimientos de puentes. Casi siempre son producidos por violentas crecidas, cuando los desagües son insuficientes. Si las luces del puente no son bastantes para el desagüe normal de las crecidas, tiene que contraerse su sección». Se remansa entonces el río aguas arriba, produciéndose un salto entre la parte alta del remanso aguas arriba y el nivel de las aguas a la salida del puente, que provoca el aumento de la velocidad de las aguas que puede alcanzar la necesaria para socavar los cimientos. Muestra un cierto desencanto por las formulaciones teóricas de las avenidas, ya que las teorías hidráulicas de la época no eran aplicables en el diseño de los puentes, pues «todas ellas nos parecen algún tanto fantásticas».[22] El estudio y fijación de los niveles de estiaje, crecidas ordinarias y extraordinarias, enmarcaban la decisión si el puente debía «proyectarse para dar paso a las crecidas ordinarias solamente o si ha de ofrecer desagüe bastante para la mayor crecida extraordinaria, por muy excepcional que haya sido». En función de la forma del valle, ya sea de forma triangular / trapecial de suelo duro, o uno ancho, Ribera llega a la conclusión que los puentes han de construirse para desaguar las avenidas normales que se producen con cierta periodicidad. Las avenidas extraordinarias no producirán socavación en el primer caso por el aumento de la velocidad al remansarse contra el puente por la dureza del terreno, y en el segundo caso las aguas invadirán amplias llanuras de inundación a ambos lados del puente, que cortarán los caminos, se suspenderá el tránsito y el puente dejará de ser útil, por lo que podrá ser rebasado sin consecuencia ya que las aguas circularán con una baja velocidad por ocupar una amplia sección. Termina Ribera con estas desalentadoras palabras: »Ante tamañas discrepancias de criterio (sobre las fórmulas hidráulicas empíricas aplicables a una determinada ubicación) y la inexactitud de las hipótesis admitidas, considera el autor preferible confiarse al ojo clínico del ingeniero, adquirido por la observación de los puentes inmediatos, si los hubiese, o por la experiencia propia, aplicada a cada emplazamiento».[23]

La capacidad de desagüe de los puentes romanos

En el apartado anterior se ha analizado brevemente el desarrollo histórico, hasta la mitad del siglo XX, de los conocimientos hidráulicos del río en su vinculación con los puentes que sobre él se construyen. Ve-

mos cómo a medida que progresan otras disciplinas como las matemáticas o la física, se establecieron las primeras formulaciones que intentaban comprender el fenómeno, a pesar de que su simple enunciado teórico resultaba curioso[24] (Gautier siglo XVIII) o de poco valor práctico[25] (Degrand, XIX) y Rivera, XX). Anteriormente a estas fechas los maestros no manejaban muchos conceptos hidráulicos a la hora de construir un puente salvo, como hemos visto, aquella reglas compositivas de marcaban los arcos por encima de la mayor avenida.

Si vamos hacia atrás en el tiempo e intentamos saber el nivel de conocimientos teóricos y prácticos de los ingenieros romanos, teniendo en cuenta el retroceso que durante el Medievo tuvieron las técnicas constructivas en general, no creo que nos equivoquemos mucho si suponemos que tuvieron en su acervo técnico un nivel similar a los renacentistas e incluso a los del siglo XVIII. Entramos, por supuesto, en el campo de la especulación, pero analizando la disposición constructiva y la capacidad de desagüe de algunos puentes que han llegado hasta nosotros, esperamos extraer algunas conclusiones.

No tenemos ninguna duda de que en el diseño y construcción de algunos puentes, como por ejemplo el de Alcántara y el Bibei, fueron determinantes las cuestiones hidráulicas. Estos puentes se pudieron construir con dimensiones más modestas —por parto de menor coste— ya que las cotas de la plataforma no estaban condicionadas por los accesos, pero prefirieron hacerlos con el tamaño adecuado para que por debajo de sus arcos pasasen grandes avenidas. Este condicionante hidráulico fue decisivo pues sin duda ha permitido que ambos tengan un buen estado de conservación y que continúen en servicio. Del puente de Alcántara, Carlos Fernández Casado[26] escribe: «A primera vista parece un puente desproporcionado a las condiciones hidráulicas del río, pero en cuanto se pone en relación con el nivel de máximas avenidas destaca su adecuación funcional».

Los estudios realizados, que exponemos a continuación, sobre el comportamiento hidráulico de las avenidas de algunos ríos *gallaicos* en la zona donde hay o hubo un puente romano, nos va a permitir reforzar nuestra opinión sobre el tema. Veamos en primer lugar las hipótesis de partida:

— El caudal de la avenida de cálculo es la Q_{500}, es decir la que tiene un período de retorno de 500 años o en otras palabras, la que tiene la probabilidad 1/500 —un 0,2 %— de que el caudal máximo real del río sea superior al del cálculo.

— La cuenca se ha dibujado en una cartografía a escalas 1:50.000 y 1:25.000.

— Se ha utilizado un ábaco, incorporado al actual Plan Hidrológico Norte 1 y utilizable en esta zona de España, que permite obtener el caudal unitario en m^3/seg./km^2 a partir de la superficie de la cuenca y del período de retorno elegido. Sabemos que los valores obtenidos son relativamente altos a los que resultan de la aplicación de otros métodos, pero para los fines perseguidos los hemos considerado válidos.

— Para el estudio del comportamiento hidráulico se ha utilizado el programa informático HEC-RAS, diseñado por la Administración Norteamericana, de amplia difusión en las escuelas técnicas y en la actividad profesional. Introduciendo la forma del cauce por medio de las oportunas secciones transversales aguas arriba y aguas abajo del puente, las condiciones de control y el caudal de avenida, permite obtener, entre otros resultados, los perfiles longitudinales y transversales de la lámina superior de la crecida considerada.

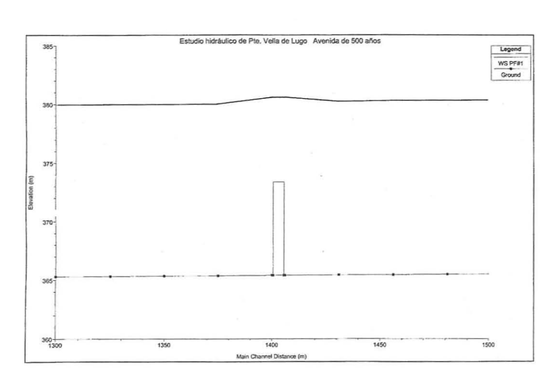


Figura 10
Ponte Vella de Lugo

Los ríos y puentes romanos de *Gallaecia* analizados son los siguientes:

1. **Ponte de Chaves** perteneciente a la vía nº 17 del Itinerario de Antonino construido sobre el río Támega en las proximidades de la ciudad portuguesa de Chaves, antigua *Aquae Flaviae*.

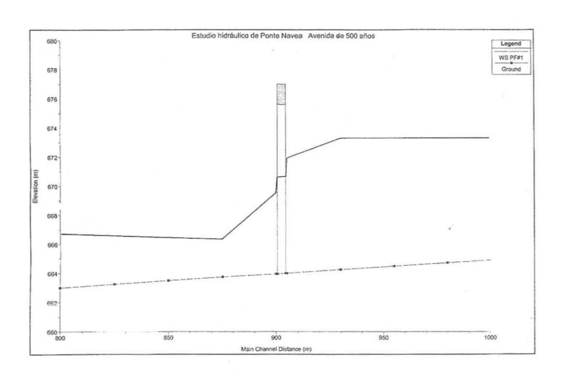


Figura 11
Ponte Navea

2. **Ponte do Arquinho** que pertenecía a la misma vía nº 17, construido sobre el río Calvo en las proximidades de la ciudad portuguesa de Valpaços.
3. **Ponte de Pedra** también en la vía nº 17 de Braga a Astorga, sobre el río Tuela, cerca de la ciudad de Torre de Dona Chama en el norte de Portugal.
4. **Ponte de San Miguel** pertenecía *Via Nova* , nº 18 del Itinerario de Antonino, construido sobre el río Homen en el Gerês-Portugal, cerca de la actual frontera hispano-portuguesa de A Portela do Home.
5. **Ponte Pedriña** en la misma la vía nº 18, sobre el río Limia, en el sur de la provincia de Ourense, actualmente sumergido en las aguas del embalse de As Conchas.
6. **Ponte Freixo** que daba paso sobre el río Arnoia a una vía que unía Bracara (Braga) con Lucus (Lugo), entre los municipios de Celanova y Cartelle (Ourense).
7. **Ponte Romana de Lugo** perteneciente a la vía nº 19 del Itinerario de Antonino erigido sobre el río Miño en las proximidades de la ciudad de Lugo, antigua *Lucus Augusti*.
8. **Ponte Navea** de la *Via Nova*, sobre el río Navea, entre los municipios ourensanos de Póboa de Trives. Para su estudio hemos tomado una reciente reconstrucción realizada por el ingeniero Segundo Alvarado.[27]
9. **Ponte Bibei** que también pertenecía a la *Via Nova,* construida sobre el río Bibei, en las proximidades de Póboa de Trives (Ourense).
10. **Ponte de A Cigarrosa** en la *Via Nova,* vía nº 18 del Itinerario de Antonino, sobre el río Sil en las proximidades de la villa ourensana de A Rua. Se ha utilizado la reconstrucción realizada por S.Alvarado.
11. El puente de **A Pontóriga** también llamado «Os Pontós», pertenecía a una posible vía secundaria del entorno del complejo minero de As Médulas (León), sobre el río Sil cerca del pueblo de Sobradelo (Ourense). También se ha empleado la reconstrucción hipotética realizada por S. Alvarado.[28]

De los estudios realizados se desprende que muy pocos puentes fueron diseñados para que pasen grandes avenidas, como la considerada, pues solo en tres de ellos, los Navea, de S. Miguel, Navea y Bibei, es posible. De éstos se debe destacar que fueron construidos en una zona donde los valles tienen una forma similar en V, son estrechos con márgenes muy pendientes, y sobre ríos torrenciales cuyas aguas proceden en determinadas épocas del deshielo: El río Homen recoge en su cuenca los posibles deshielos de A Serra do Gerês-Xurés, mientras que el Navea y el Bibei los recogen de A Serra de Cabeza de Manzaneda.

En el resto de los puentes el agua de la avenida pasa por encima que, según el caso, ha ocasionado daños o no, como vamos a ver:

— La avenida estudiada de los ríos Támega y Tuela rebasa los puentes de Chaves y de Pedra respectivamente, pero debido a que discurre por zonas de valle amplio, sobre todo el Támega a su paso por Chaves, la velocidad que llevan sus aguas es pequeña, en torno a los 2-3 m/seg. Estas pequeñas velocidades son favorables para que, a pesar de que el puente sea rebasado, los daños sean pequeños, ya que la presión que ejerce la corriente en un cuerpo sumergido es directamente proporcional a un coeficiente de forma (variable con ella, pequeño cuando tiene un perfil hidrodinámico como los tajamares), a la superficie que opone a la corriente y al cuadrado de la velocidad; es decir, si velocidad se incrementa al doble, la presión es cuatro veces mayor. La presión es independiente de la profundidad a la que se halla el objeto. Según esto es muy importante para la durabilidad de un puente que las aguas discurran mansamente en todo momento y que sus elementos opongan la menor superficie posible al paso de la corriente.

Estos dos puentes conservan una buena parte de su fábrica original, sobre todo la parte o cuerpo abovedado, no así los estribos y los pretiles, que como elementos que ofrecen mucha superficie a la corriente, debieron arruinarse en algún momento ya que los actuales no son los originales. Tampoco son romanos los tajamares de ambos puentes, pues son partes sometidas a fuertes impactos producidos por los objetos o árboles arrastrados por las crecidas.

— Un puente que reúne circunstancias parecidas en cuanto a la forma del valle y a la velocidad de la crecida (2,2 m/seg.), pero que apenas conserva restos de su fábrica romana es el Ponte Vello de Lugo. ¿Qué sucedió en este caso?. El análisis del comportamiento hidráulico del río Miño en ese punto apunta a que el volumen de agua de la avenida es muy grande y que alcanza una cota bastante elevada sobre la plataforma del puente romano, unos 5,40 m., aunque esta circunstancia no implica una mayor presión de la corriente pues es independiente de la profundidad. Lo más probable es que otros factores como la insuficiencia del desagüe, la gran superficie que opuso a las avenidas, la socavación de las pilas o la rotura de bóvedas sean la causa de que el puente actual apenas conserve restos de la obra romana.

— Se ha estudiado la avenida de 500 años del río Sil a su paso por dos puentes romanos, el de A Cigarrosa y A Pontóriga, y lo primero que observamos es que ambos son rebasados por la crecida, a una velocidad muy elevada, entre 7 y 11 m/s., que evidentemente supondría un gran poder de destrucción por la conocida vinculación presión-velocidad, confirmado por los pocos restos que se conservan de las obras originales. Del puente de A Cigarrosa quedan unos pocas hiladas de la parte inferior de dos pilas, y de A Pontóriga, puente que tuvo una superestructura de madera apoyada en pilares de piedra, solo se conservan los núcleos de hormigón de cal de las pilas. Es evidente que la posibilidad de ruina en caso de rebosamiento en A Pontóriga, por ser de madera, es mucho mayor que si fuese de piedra.

— El Ponte Pedriña es un puente que es rebasado por la avenida estudiada del río Limia, la cual llevaría en ese lugar una velocidad entre 5 y 6 m/seg., que podría haberle provocado daños graves a lo largo de su existencia. No parece haberlos sufrido si observamos con detenimiento una foto suya de 1912,[29] pues el estado de conservación de su cuerpo principal parece bastante bueno. Puede que haya resistido la presión de las avenidas gracias a la rigidez que tiene el puente, por su disposición constructiva y su trabazón —características tan alabadas por el P.Pontones— con un arco rebajado poco esbelto, un pequeño desaguadero a su lado izquierdo y una gran pila maciza entermedia, de 7,40 m. de anchura, que le haría muy resistente a la fuerza destructiva del río, a pesar de la gran superficie opuesta a la corriente.

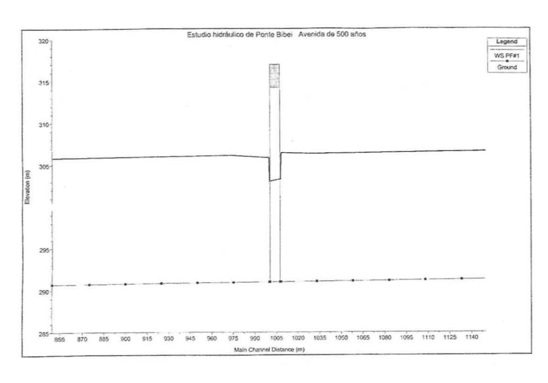


Figura 12
Ponte Bibei

— Y finalmente dos puentes en los que los daños experimentados han sido, casi exclusivamente, la destrucción de los muros de acompañamiento de los estribos, mientras que el resto del puente, los estribos, las bóvedas y las pilas, bien trabadas por su aparejo, resistían tenazmente. La existencia actual de fábricas de mampostería de baja calidad, fruto de malas reconstrucciones, en los estribos del Ponte do Arquinho y antes de su restauración en los del Ponte Freixo, así parecen indicarlo. La ruina de estos muros de acompañamiento o manguardias, se debió a la gran superficie que oponían a la corriente durante las crecidas, posiblemente también a su peor calidad constructiva que el resto del puente —esta posibilidad la hemos apreciado en ambos puentes— y a la velocidad del agua que, a pesar de no ser muy alta, del orden de 2-3 m/s. en el Ponte do Arquinho y de 3 a 5 m/s. en Freixo, fue suficiente para derribarlos.

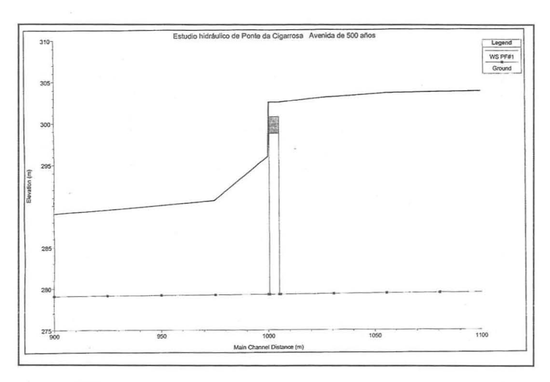


Figura 13
Ponte de Cigarrosa

Conclusiones

Como colofón de lo hasta aquí expuesto, opinamos que los constructores de puentes en época romana disponían de amplios conocimientos, similares a lo que se tenían en el siglo XVIII, que realizaban planteamientos previos de carácter hidráulico y que entre sus datos previos estaban las cotas de las avenidas de las que había recuerdo. Es evidente que en algunos casos el condicionante hidráulico tuvo relevancia y fue decisivo en su construcción y en otros no, al sacrificarlo en aras de la economía y la racionalidad a las que eran tan dados los romanos.

El espesor de las pilas y la opacidad de los tímpanos debió ser una preocupación para los ingenieros romanos, ya que eran los elementos que estrechaban el cauce. En cuanto la primera de estas cuestiones determinadas proporciones respecto a la luz de los arcos (entre $^1/_2$ y 1/5) conocidas entre ellos fueron la base teórica para su diseño. Para aminorar sus efectos y facilitar el desagüe dotaron de tajamares los frentes de las pilas, generalmente apuntados de sección triangular y en menor medida de forma redondeada. En cambio no construyeron espolones o contratajamares en su paramento aguas abajo que lo dejaron plano, claramente mal adaptados a las condiciones hidráulicas a las que se halla sometida esa zona. En cuanto a la opacidad de los tímpanos, elementos que ofrecen mucha resistencia al agua, la trataron de aminorar dotándolos de desaguaderos abovedados de pequeña luz que atravesaban su masa, desde épocas muy tempranas (siglo 1 a.C.) como se aprecia en los puentes republicanos de Roma, Ponte Cestio y Ponte Fabricio.

No tuvieron los conocimientos necesarios para darle a todos los puentes una capacidad suficiente, aunque en algunos tuvieron la suficiente sagacidad para conseguirlo, como en el puente de Alcántara y en los puentes *gallaicos* de San Miguel —volado por las tropas portuguesas en 1640 durante la guerra hispano-lusitana— y Bibei. Con otros ríos fracasaron estrepitosamente ya que no se conserva ningún puente, quizá debido a que son ríos torrenciales cuyos caudales de avenidas, en determinadas épocas, alcanzan valores muy altos y de una forma muy rápida. En España estos ríos pertenecen a la cuenca mediterránea y cantábrica, donde se produce de vez en cuando el fenómeno meteorológico de la gota fría, que origina grandes e imprevisibles avenidas. Los ríos de la vertiente atlántica, de regímenes menos variables y que discurren por zonas en donde no se producen esos fenómenos meteorológicos, parece que las controlaron mejor, como lo demuestra el hecho de la totalidad de los puentes peninsulares conservados están construidos sobre ellos.

Desde el punto de vista de diseño disponían de reglas prácticas geométricas y proporcionales, similares a las que hubo hasta finales del siglo XIX y comienzos del XX, que aplicaban al diseño de los puentes y que ajustaban según fuese el río, la forma del valle, las condiciones de cimentación, los materiales a emplear, etc. Es muy probable que tuviesen algún tipo de normas o directrices generales, más o menos oficiales, que les obligaban a cumplir determinados requisitos, como era dotarlos de una anchu-

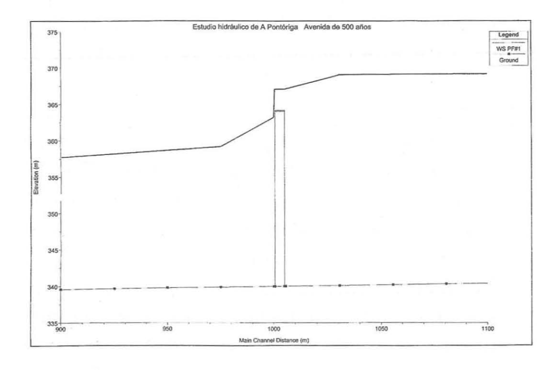


Figura 14
Ponte de A Pontóriga

ra mínima, la utilización del un tipo de *opus* normalmente *quadratum con almohadillado,* o ejecutar las fábricas con hiladas alternas de sillares a soga y a tizón. Nos parece una cuestión clara, confirmada por los resultados estadísticos obtenidos a partir de muestras de suficiente extensión, y en los que se observan unas probabilidades muy altas, al analizar la presencia de ciertas medidas, proporciones o características constructivas.

NOTAS

1. Vitrubio Polion, M.: *Los diez libros de Arquitectura.* Edición de José Ortiz y Sanz. Reed. facsímil Edic. Akal. Madrid, 1992.
2. Frontino: *Les acueducs de la Ville de Roma.* Trad. de Pierre Grimal. Société d'Edition «Les Belles Lettres». París, 1961.
3. Plinio Segundo, C.: *Historia Natural.* Trasladada y anotada por el doctor Francisco Hernández. Reed. Visor Libros-Univ. México. Madrid, 1998.
4. Alvarado, S.; Durán, M.; Nárdiz, C.: *Puentes históricos de Galicia.* Xunta de Galicia-Colegio de Ingenieros de Caminos. Santiago, 1989.
5. Mesqui, J.: *Le pont en France avant le temps des ingénieurs.* Picard. París, 1986.
6. Bois, G.: *La revolución del año mil.* Editorial Crítica. Barcelona, 1991.
7. Mesqui, J.: *Op. cit.*, p. 162.
8. Bechmann, R.: *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIII[e] siècle et sa communication.* Picard. París, 1991.
9. Alberti, L. B.: *De Re Aedificatoria.* Ediciones Akal. Madrid, 1991.
10. *Ut supra*, pp. 191 y 184 y ss.
11. Pseudo-Juanelo Turriano: *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas.* Tomo I y II. Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos-Ediciones Turner. Madrid, 1983.
12. Frago, J. A.; García-Diego, J. A.: *Un autor aragonés para los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas.* Diputación General de Aragón. Zaragoza, 1988.
13. Gille, B.: *Les ingénieurs de la Renaissance.* Edit. Hermann. Tours, 1962.
14. Mesqui, J.: *Op. cit.*, p. 172.
15. Gautier, H.: *Traité des ponts.* C.André Cailleau. París, 1716.
16. *Ut supra*, p. 34.
17. León Tello, F.; Sanz Sanz, Mª V.: *Estética y teoría de la arquitectura en los tratados españoles del siglo XVIII.* Consejo S. de Investigaciones Científicas. Madrid, 1994.
18. *Ut supra*, pp. 1189 y ss.
19. Degrand, M. E.: Ponts *en maçonnerie.* París, 1888.
20. *Ut supra*, p. 428.
21. Ribera, J. E.: Pu*entes de fábrica y hormigón armado.* Tomo III. Gráficas Barragán. Madrid, 1936.
22. *Ut supra*, p. 17.
23. *Ut supra*, p. 66.
24. Gautier: *op. cit.*
25. Degrand: *op. cit.;* Rivera: *op. cit.*
26. Fernández Casado, C.: Hi*storia del puente en España. Puentes romanos.* Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1960.
27. Alvarado Blanco, S.: «El puente romano-medieval de A Cigarrosa (Ourense). Una interpretación constructiva». *Boletín Auriense*, año XXV. Ourense, 1995.
28. Alvarado Blanco, S.: «A Pontóriga. Sobre los restos de un antiguo puente romano cerca de Sobradelo de Valdeorras». *Boletín Auriense*, año IX. Ourense, 1979.
29. Alvarado Blanco, S.: «El puente romano-medieval»... *op. cit.*, p. 105.

Tipologías constructivas de los palacios sevillanos del siglo XVI

Teodoro Falcón Márquez

Para analizar la casa-palacio sevillana del siglo XVI debemos partir de dos consideraciones previas. En primer lugar, que estas mansiones tuvieron como referencia a la Casa Real, el palacio mudéjar de Pedro I (1364-66) en el Alcázar sevillano, desde fines del siglo XIV hasta el siglo XVI.[1] La otra cuestión es que ninguna de estas casas se sacó de cimientos íntegramente con un proyecto previo, sino que fue el resultado de un lento proceso de reformas y ampliaciones sobre uno o varios edificios preexistentes, en los que las células básicas eran casas-patio.[2]

El primer y mejor ejemplo conservado de la herencia de la Casa Real (palacio de Pedro I), se halla en el Palacio de Altamira, donde se repite el mismo esquema que en el Patio de las Doncellas del Alcázar, con los salones perimetrales, incluido el equivalente al Salón del Trono, además de un patio doméstico como el de las Muñecas. También es evidente en la Casa de Pilatos. Puede apreciarse en la media naranja que cubre la escalera principal (figura 1). Fue realizada en 1538 por el carpintero Cristóbal Sánchez, quien la firma en el friso, siendo dorada por Antón Pérez. Es una réplica de la del Salón del Trono (o de Embajadores), obra de Diego Ruiz (1427), quien asimismo la firmó. También la carpintería de las puertas y de las ventanas, así como las yeserías y la epigrafía se han tomado de la Casa Real mudéjar.

La otra cuestión que planteamos es que estas mansiones no responden a un proyecto integral. La organización de sus plantas y alzados reflejan un carácter laberíntico, como resultado del proceso aditivo, ya

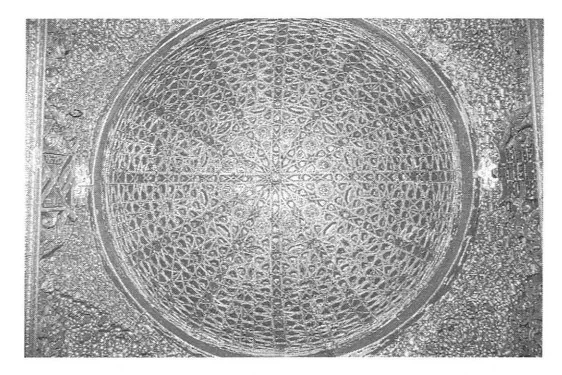


Figura 1
Media naranja de la escalera principal de la Casa de Pilatos

que a un núcleo originario se le fueron añadiendo, por sucesivos propietarios, otras casas en las que a veces se incorporaron calles. La documentación desde la Edad Media hasta el siglo XVI alude siempre a casas, como concepto plural.

Lógicamente no existe un prototipo único de estos edificios, pero sí se repiten algunos rasgos comunes. Tras franquear la portada principal, de mármol de Carrara, suele haber una casapuerta, distribuidor que conduce a los establos, bodegas y en ocasiones a la planta alta. A veces es frecuente un cielo, espacio abierto para apeadero que comunica con las caballerizas. Al patio principal no se accede generalmente desde la puerta de la calle. Muchas veces se halla en

ángulo recto. Chueca le ha llamado perspectiva quebrada. Cuando se accede directamente desde la calle, a través de la casapuerta, el patio está descentrado con relación a ella. Los ejemplos típicos de la casa-patio sevillana tal como se muestra hoy con una cancela que permite ver el patio desde la calle, es el resultado de la transformación que se llevó a cabo en estas viviendas en época de Isabel II.

Emulando a la casa real (palacio mudéjar de Pedro I), suele haber un patio principal, trasunto del Patio de las Doncellas y uno o varios patios privados, para uso doméstico, que desempeñan el mismo papel que el Patio de las Muñecas. El patio principal estaba solado unas veces con ladrillos, formando la llamada espina de pez; otras con olambrillas, y con posterioridad fue siendo sustituido por losas de mármol blanco.

La casa-palacio del siglo XVI suele tener dos plantas. En alzado el predominio de la horizontalidad queda contrarrestado por uno o dos torreones de ángulo. En este caso uno alberga la caja de escalera principal, que está siempre en un vértice del patio. El otro corresponde al salón principal, de planta cuadrada. En el caso de la Casa de los Pinelo hay un gran torreón de ángulo (tirasol) que da a dos fachadas. La galería alta del patio principal no suele circunvalar los cuatro frentes, sino en dos o en tres.

En torno al patio principal suele haber una serie de salones rectangulares y cuadrados (palacios, cámaras y camaretas). Los palacios se sitúan en las crujías paralelas al patio, las cámaras generalmente en los vértices. El comedor principal y las habitaciones suelen estar en planta alta. Las casas principales tenían capilla propia, además de estar comunicadas con la iglesia próxima (parroquia o iglesia conventual) a través de una tribuna. En Pilatos y las Dueñas las capillas se sitúan en planta baja, mientras que en la Casa de los Pinelo se halla en la alta. Las más primitivas de las conservadas son las de la Casa de Pilatos y la de las Dueñas. Se cubren con bóvedas de tercelete cuyos nervios apean sobre altorrelieves que representan ángeles pasionarios. Las tribunas que comunicaban palacios con templos han desaparecido. Las han tenido, entre otras mansiones, la del marqués de la Algaba con la iglesia de Omnium Sanctorum; la de Pilatos, con San Esteban; la de la Dueñas con el convento de ese nombre y la de Altamira, con Santa María la Blanca.

La escalera adquiere especial desarrollo dentro de las casas, convirtiéndose en una pieza clave del conjunto. Suele ser de tipo claustral, de un tiro, ubicada en un ángulo del patio. Su caja, generalmente rectangular, adquiere gran monumentalidad, de tal forma que es uno de los volúmenes emergentes de estas mansiones, haciendo *pendant* con el salón principal. Es frecuente que se cubra con un artesonado y se acuse al exterior con un tejado a cuatro aguas.[3]

Huertas y jardines suelen envolver a estas mansiones. Otras veces el jardín se sitúa en la parte más alejada a la puerta de ingreso. Como ha manifestado Bonet Correa, a lo largo del siglo XVI los jardines dejaron de ser huertos de origen musulmán, para someterse a la disciplina y el orden de un cosmos platónico, en el que la simetría y las proporciones que condicionaban su belleza eran regidos por los volúmenes de la arquitectura y el valor de las esculturas, que revestidas del prestigio de la fábula antigua, representaban dioses paganos o emperadores romanos.[4] A este respecto recordemos que por orden de Per Afán de Ribera, el Patio Grande de la Casa de Pilatos se convirtió hacia 1571 en un jardín arqueológico de su colección napolitana. En los jardines del Palacio de las Dueñas hay una serie de bustos y cabezas de emperadores, divinidades del mundo clásico, faunos, etc., algunos de los cuales debieron ser restaurados o renovados en el siglo XIX. En este palacio se colocaron también en 1571 unos parterres formando figuras, con decoración escultórica y grutescos.

Desde fines del siglo XV se inició un proceso por el que la arquitectura sevillana irá abandonando su introspección, para labrar fachadas y portadas a calles y plazas. En este nuevo sentido de facialidad contribuyó notablemente el empleo del mármol de Carrara para las portadas, en las que ostentarán blasones nobiliarios. La arquitectura sevillana ha empleado tradicionalmente el ladrillo como material básico constructivo, además del tapial. En el caso de la Casa de Pilatos la portada se colocó sobre una fachada de ladrillo agramilado, de tradición mudéjar.

En la Casa de los Almansa (Mañara) la reciente restauración ha permitido constatar el uso del tapial en gruesos muros, reforzados en las esquinas, y en la definición de los huecos por zonas ejecutadas en fábrica de ladrillo macizo (figura 2). Estos refuerzos de las esquinas, del mismo grosor que el tapial, son escalonados, albergando cada escalón una tira de tapiales. Normalmente la altura del muro de cada planta alberga seis tiras de tapial, separados entre sí por dos verdugadas de ladrillo, que se convierten en cuatro

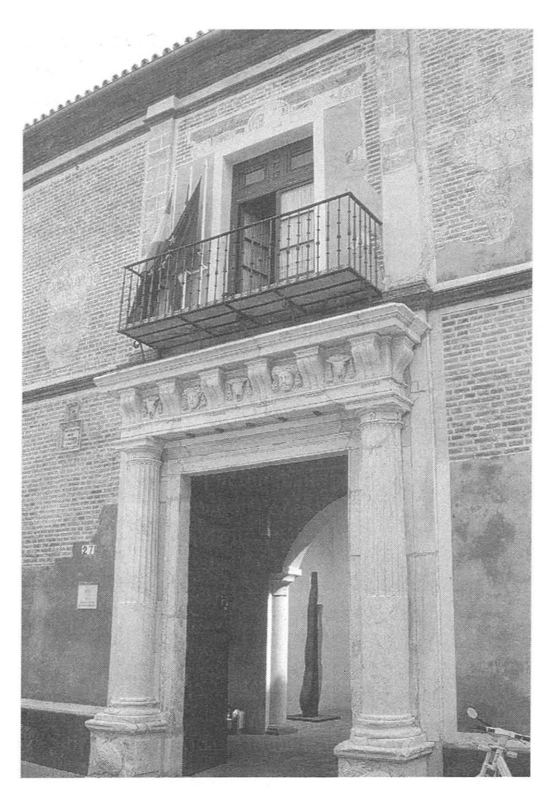


Figura 2
Fachada y portada principal de la casa de Miguel de Mañara

para formar los mechinales. Las dos tiras superiores del tapial suelen presentar la anomalía de que la separación entre cajones es de cal, en gruesa lechada, y no de ladrillo, estando los mechinales formados por cuatro trozos de teja. Los muros exteriores de estas casas solían dejar visto el ladrillo agramilado. Otras veces se enlucía con cal o con almagra.

La portada más primitiva conservada, de los albores del Renacimiento, es la del Palacio de los marqueses de la Algaba, en la collación de Omnium Sanctorum, que ha llegado hasta nosotros parcialmente arruinada. Data de hacia 1480, de tiempos de don Luis de Guzmán y Aponte, II Señor de la Algaba, casado en primeras nupcias con doña Inés Ponce de León, hija del conde de Arcos y, posteriormente, con doña Leonor de Figueroa. Don Luis de Guzmán residió en el primitivo palacio mudéjar desde 1482 hasta 1485 en el que fallece. Se trata de una portada gótico-mudéjar, de ladrillo agramilado y alicatada de cerámica polícroma, en la que ostentaba el blasón del linaje Guzmán.[5]

Una cuestión que debemos plantearnos es de cuándo data la renovación de la casa-palacio sevillana, empleando el mármol de Carrara en portadas, fuentes, columnas, etc. Salvo un caso aislado como fue el retablo funerario del cardenal don Diego Hurtado de Mendoza, realizado en 1509 por Domenico Fancelli, colocado por su artífice al año siguiente en la capilla de la Virgen de la Antigua de la catedral, será en la década de 1520 cuando diversas casas nobiliarias encargarán sepulcros y otras piezas de mármol a talleres genoveses. Todo ello después de haber finalizado la ocupación francesa de Génova (1513). Entonces sus talleres pusieron sus miras en el mercado español, particularmente en el sevillano, por su prosperidad con la carrera de Indias.

Don Fadrique Enríquez de Ribera, I marqués de Tarifa, de regreso de un viaje a Jerusalén, encargó en 1520 los sepulcros de sus padres con destino a la cartuja de Santa María de las Cuevas. Se instalaron en 1522, siendo realizados el de don Pedro Enríquez por Antonio María Aprile de Carona, y el de doña Catalina de Ribera por Pace Gazzini, quien falleció en ese último año. Fueron instalados por Aprile, en compañía de Bernardino de Bissone. Luego se hizo el de don Francisco de Zúñiga, marqués de Ayamonte y el de su esposa, realizados entre 1526 y 1529 por Aprile y Bissone, con destino al convento de San Francisco. Con posterioridad, entre 1529-33 se harían por Aprile el de Perafán de Ribera II y el de su esposa, doña Teresa de Córdoba, así como los de otros miembros de la familia, con destino a la Cartuja.

Como resultado de estos encargos, de regreso a Génova, a fines de 1525, estos maestros marmoleros tuvieron que crear una sociedad para atender la demanda de la aristocracia sevillana. En ella figuraba, entre otros, Pier Angelo della Scala di Carona. Los contratos se hacían a veces con la banca de Niccolo di Cattaneo. Pero como Génova era pieza clave en la guerra entre el emperador Carlos V contra Francisco I de Francia, hasta que el almirante Andrea Doria no expulsó a los franceses de esa ciudad en 1528, no se pudieron concluir los encargos sevillanos que se hallaban relentizados.

En 1526, año de las bodas del emperador en Sevilla, se concertó el primer lote de columnas con destino a la Casa de Pilatos, por encargo de don Fadrique.

Las primeras que se hicieron para renovar el Alcázar (Patio de las Doncellas), se estipularon en 1534, por encargo de don Jorge de Portugal, conde de Gelves, Alcaide de los Reales Alcázares. El contrato fue suscrito por Aprile y Bissone.

En cuanto a las portadas de mármol documentadas, las primeras fueron las de Pilatos y la de la casa de don Hernando Colón, situada cerca de la Puerta de Goles (Real). Ambas fueron realizadas por Aprile de Carona entre 1528 y 1533. De estos mismos años y artífices son las columnas de la casa de los Almansa (Mañara), la fuente del patio principal de Pilatos y la de la Plaza de la Magdalena, que procede de esa mansión.[6]. La de la Casa de Pilatos está concebida como un arco de triunfo. El modelo procede de la Cartuja de Pavía. Se halla enmarcada con pilastras corintias. El modelo del capitel de la izquierda, con un águila de alas desplegadas,-como ha observado Lleó— está inspirado en el *Codex Escurialensis*. En sus enjutas figuran sendos medallones con las efigies de Julio César y de Trajano.

Es de destacar un hecho que no tiene paralelismo ni consecuencias con otras portadas sevillanas de la época. Se trata del caracter historicista que imprimió su propietario, don Fadrique Enríquez, quien mandó poner en la baluastrada que corona esta fachada y en la portada sendos textos inscritos, en los que dejó para la posteridad testimonio que «a 4 días de Agosto de 1519 entró en Jerusalén» y que esta casa la mandaron hacer sus padres, así como que la portada es obra suya, colocándose en 1533.

La portada de la Casa de los Almansa (Mañara) responde a otro concepto estético (figura 2). Data de hacia 1540. Se halla flanqueada por dos columnas de órden toscano, cuyos pedestales están decorados con relieves en los que figuran escudos de armas cruzados. En el friso, decorado con ménsulas, alternan bucráneos con máscaras florales.

Los viejos soportes medievales, constituidos generalmente por pilares de ladrillo achaflanados, fueron sustituidos a fines del siglo XV por columnas con capiteles nazaritas. Sin embargo hasta la década de 1520 no se comezaron a contratar a talleres genoveses las columnas de mármol de Carrara, que en estas primeras remesas no van a responder a un modelo único y uniforme.

En 1526 don Fadrique Enríquez concertaba el envío de 13 columnas para sustituir 12 pilares de ladrillo primitivos del palacio mudéjar de sus padres, ubicados en dos bandas paralelas. La columna restante tal vez sería para el apeadero. A este primer contrato se sucedieron otros dos. Uno en 1528, que no se llevó a efecto, y un tercero en 1529 por el que se encargaron a Antonio María Aprile de Carona 32 columnas.

Como resultado de ambas remesas las columnas del lado oriental del patio son de capiteles de «moñas» («castañuelas») y las de los otros frentes son troncocónicas lisas. Otro testimonio de la falta de uniformidad en el envío de las columnas lo tenemos en el Alcázar. Entre los años de 1534 y 1540 vinieron de Génova, de los talleres de Aprile y de Bissone, con destino al Patio de las Doncellas, fustes de columnas de diversos colores, diámetro y altura, sin basas ni capiteles, sobre las que se colocaron zapatas de madera.

A causa de esa falta de uniformidad, que afeaba el conjunto del patio, estas columnas fueron sustituidas entre 1560 y 1572 por las actuales, de mármol blanco y pareadas, labradas por Francisco de Carona y Juan de Lugano. Las primitivas columnas fueron posteriomente reutilizadas por Vermondo Resta para decorar la Galería de Grutescos, hacia 1615-20.

Los alzados de los patios más primitivos, de época de los Reyes Católicos, respondían al modelo de sintagma almohade, así eran —entre otros— los de la Casa de Pilatos, los del Palacio de las Dueñas y los del Palacio de Altamira (figura 3). Eran patios rectangulares, con dos pandas de arcos paralelos. En torno a 1520-30 se fueron transformando en patios cuadrangulares, en aras de una mayor uniformidad. Los arcos de estos palacios del siglo XVI suelen ser semicirculares o peraltados en la galería baja y rebajados en la alta. Los de la planta baja de la Casa de Pilatos, con esa indefinición de arco apuntado sobre otro semicircular, tiene su precedente en la arquitectura nazarita. Particularmente en el Cuarto Real de Santo Domingo, en la huerta granadina de Al-Manxarra. Tanto las luces de los arcos de la Casa de Pilatos como las de las Dueñas no tienen el mismo ancho. En Pilatos oscilan entre 2,37 a 3,50 m. En las Dueñas, desde 2,50 a 3,57 m. Esa oscilación se debe en unos casos, al cambio de planta rectangular (con dos pandas de arcos) al cuadrado, con cuatro pandas de arcos en planta baja. Pero también se debe al hecho de que los vanos mayores enmarcan a los vanos de acceso a determinadas dependencias. Los arcos de las mansiones sevillanas que se construyeron en el



Figura 3
Soportes del patio del palacio de Altamira

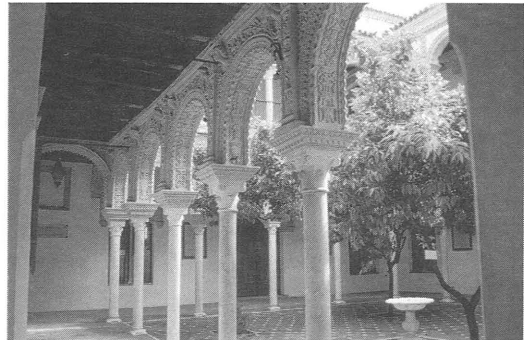


Figura 4
Patio de la casa de los Pinelo

primer tercio del siglo XVI suelen ser angrelados. Están ricamente decorados con yeserías, a base de festones y decoración floral (figura 4). De diferente tipo, más primitivo, es el modelo de arco que sirve de acceso a las capillas de Pilatos y las Dueñas. Es conopial, enriquecido de crochets, con adornos de tracería gótica en las enjutas. Sobre su dintel hay un friso con tres pequeñas ventanas lobuladas y caladas, del tipo del palacio mudéjar de Pedro I. Enmarca el conjunto un ancho alfiz ricamente decorado con ataurigues.

Siguiendo un proceso general, semejante al resto de la arquitectura española del siglo XVI, que evoluciona desde un barroquismo decorativo hasta la ausencia ornamental, las arquerías de los patios sevillanos de fines de ese siglo carecen de motivos decorativos. Ese es el caso, por ejemplo, del de la Real Audiencia, construido entre 1595-97. Si el orden preferente en la primera mitad de siglo es el corintio, en las dos plantas, a fines de siglo suele haber superposición de órdenes. En la Audiencia son columnas dórico-toscanas las de la planta baja y jónicas las superiores. El mismo planteamiento se repite en el patio de la Lonja, que deriva del de los Evangelistas, de El Escorial. Es frecuente que sobre los capiteles de la primera mitad de siglo haya altos cimacios de ladrillo, que luego decrecerán de altura sensiblemente. También los de las primeras décadas están decorados, a base de yeserías mudéjares y con blasones nobiliarios (figura 5).

También en esa primera mitad de siglo las cubiertas suelen ser de artesonados o alfarjes, adornados con motivos geométricos de lacería y piñas de mocárabes. Generalmente también están decorados con



Figura 5
Pormenor del patio principal del palacio de las Dueñas.

pinturas con grutescos y con blasones familiares, temas que se repiten en los arrocabes. Los salones principales de la Casa de Pilatos y de las Dueñas, situados en planta alta en un vértice del patio opuesto al eje de ingreso, se cubren con un artesonado octogonal, con lacería de ocho. Repiten el mismo modelo del que cubre en el Alcázar la Sala de la Justicia, que data de tiempos de Alfonso XI, de hacia 1340-50. En ocasiones en la planta baja, en las cubiertas de las galerías perimetrales del patio suelen haber azulejos por tabla, es decir azulejos de cuenca entre las jácenas. Algunos temas decorativos de estas cubiertas, tanto de madera como de fábrica, se inspiran en láminas de Serlio.

Un ejemplo podemos verlo en la bóveda de cuatro paños que cubre la actual Secretaría de Buenas Letras, situada en planta baja de la Casa de los Pinelo. Está decorada con octógonos alternando con rombos. El tema está inspirado en la lámina LXX vto. del Libro IV de Sebastián Serlio, editado por primera vez en Venecia en 1537. El mismo tema se repite en el Salón del Techo de Carlos V, del Alcázar, realizado entre 1542-43 por Sebastián de Segovia.

NOTAS

1. Marín Fidalgo, A.: El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias. Sevilla, 1990.
2 AA.VV. *Restauración. Casa-palacio de Miguel de Mañara.* Sevilla, 1993;Lleó Cañal, V. *La casa de Pilatos.* Sevilla, 1998; Falcón Márquez, T. «El palacio de las Dueñas». *Reales Sitios.* Madrid, 1976; Idem. «El palacio de las Dueñas: Sus orígenes. La escritura de compra-venta de 1496. *Laboratorio de Arte.* num.10. Sevilla, 1997. pag. 105-121.
2. Wethey, H. E. «Escaleras del primer Renacimiento español». *Archivo Español de Arte.*Madrid, 1964.
3. Bonet Correa, A.: «El Renacimiento y el Barroco en los jardines musulmanes españoles». *Cuadernos de la Alhambra.* nº 4. Granada, 1968.
4. La reproducción más antigua de la portada en Richard Ford (1831). En la obra de Ford, B.: *Richard Ford en Sevilla.* Madrid, 1963; Collantes de Terán, F. y Gómez Estern, L.: *Arquitectura civil sevillana.* Sevilla, 1976, p. 85; Vázquez Consuegra, G.: *Sevilla. Cien Edificios.* Sevilla, 1988, pp. 36-37.
5. Alizeri, F.: *Notizie dei profesori dei disegni in Liguria.* Génova, 1880; Marqués de Lozoya: *Esculturas de Carrara en España.* Madrid, 1957; AA.VV.: *Génova e Siviglia, l' avventura dell' Occidente.* Génova, 1988.

Los criterios de diseño de estructuras entre los siglos XIX y XX. Herramientas lógicas y analógicas

José Luis Fernández Cabo

El texto presentado ofrece algunas de las conclusiones obtenidas de la tesis doctoral realizada por el autor titulada: *Estructura: Tamaño, Forma, y Proporción;...* leída en julio de 1998 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, y dirigida por Ricardo Aroca Hernández-Ros.[1]

El artículo realiza una revisión de las herramientas de diseño de estructuras existentes a lo largo de los siglos XIX y XX, período en el cual las realizaciones alcanzan tamaños e incrementos de luz sin precedentes. Esa rápida evolución hace que las herramientas de diseño sean imprescindibles en mucho mayor grado que hasta entonces, y que, por tanto, las investigaciones en este campo sean también más relevantes.

Para proceder a la revisión planteada es imprescindible acotar el significado de la palabra *diseño*, marcando con ello un entorno medianamente claro que lo separe del *cálculo*.

El proceso usual de diseño de una estructura pasa por establecer inicialmente unas trazas generales. El siguiente paso sería la elección del material. Si el proceso es bueno, la tarea siguiente sería establecer unas trazas generales «locales» adecuadas. Es decir, si hacemos un pórtico, la trazas generales se definen a través de simples líneas que marcan los ejes de vigas y soportes, y las trazas locales vendrían definidas por el canto y configuración interna de vigas y soportes (alma llena, celosía, viereendel,...). En algunas estructuras, este paso se puede solapar con el criterio de dimensionado, pero en principio son pasos que se pueden diferenciar. Es decir, retomando el caso del pórtico, para determinadas comprobaciones podríamos establecer criterios de proporciones de vigas y soportes antes de fijar el dimensionado de dichos elementos. A continuación, si la estructura es hiperestática, el diseño debería incluir un algoritmo para el predimensionado de los elementos. No es extraño que el proyectista predimensione los distintos elementos sin ese algoritmo. Lo más habitual es que se realice en base a la experiencia del proyectista. La experiencia puede cortocircuitar el proceso, lo cual no significa en modo alguno que no existiera.

La definición de la palabra *diseño* deja claro el ámbito del *cálculo*.

El proceso es por lo general iterativo. Para ello no tenemos más que tener en cuenta las acciones derivadas del peso de la propia estructura, que en algunos casos puede ser determinante.

Hay dos apartados claros en el diseño: por una parte la elección del material, y por otra la de la geometría. A su vez la geometría tiene varias *escalas*, que van de la traza general a la local a nivel de elemento o de sección.

Realmente, el proceso general de diseño descrito no puede ser desarrollado en su totalidad más que para algunos casos. Como es sabido, tenemos algoritmos de cálculo para resolver cualquier estructura previamente dimensionada. Por el contrario, y como veremos, los criterios o algoritmos de diseño son más reducidos.

Los dos modos básicos de adquisición del conocimiento son el lógico y el analógico. Si el criterio de

diseño se puede traducir claramente a un algoritmo diremos que el proceso es lógico. En este proceso los datos de partida son claros, y el algoritmo definido permite llegar a un resultado de forma unívoca. Si por el contrario la herramienta fundamental es de tipo comparativo diremos que el proceso es analógico. En algunas ocasiones, los dos métodos se entrelazan.

Procedamos a revisar los datos. ¿Qué herramientas de diseño encontramos en el período histórico comprendido entre los siglos XIX y XX? Analicemos la cuestión por períodos más cortos representativos.

PRIMERA MITAD DEL XIX

Galileo, en 1638, había probado la existencia de un tamaño máximo para toda estructura. Al variar de tamaño una estructura de forma semejante, la resistencia crece con el cuadrado de la longitud mientras su peso crece con el cubo. Las tensiones debidas al peso propio crecen con ello linealmente. Las reglas proporcionales no son correctas desde un punto de vista estricto. La cuestión pasó inicialmente desapercibida en la práctica, y con razón. Mientras el rango de luces de cada tipología no variaba de forma significativa, los procesos analógicos funcionaban perfectamente.

En el XVIII las cosas comienzan a cambiar, pues las luces comienzan a crecer. Pero las estructuras de gran luz son muy puntuales. Además, el aparato científico tampoco podía ofrecer más.

En torno a mediados del siglo XIX, ya se disponía de un notable aparato científico de cálculo. Una clara manifestación son los tratados de Rankine de 1863 y 1864. También se tenían datos representativos del comportamiento mecánico de los materiales usados en construcción. Es decir, a mediados del XIX se puede calcular gran número de estructuras (en muchas estructuras con simplificaciones también notables). El gran número de realizaciones de gran luz así lo demuestran. En esa época, la técnica y la experiencia van por delante del aparato teórico. Muchas estructuras se construyen sin tener un conocimiento cierto de su verdadero funcionamiento, y ello dando saltos de tamaño respecto a luces anteriores que no tienen precedente histórico.

En esa época, por tanto, se conjugan dos factores: un aparato científico relevante y el comienzo de las estructuras de grandes luces (el ferrocarril es la causa principal). Ya existen varios puentes colgantes de acero que superan los 300m, el Britania (en cajón) es de 142m. Si bajamos el rango de luces las estructuras de acero y madera se multiplican (el puente peatonal Coloso construido en madera en 1812 es de 103m). Respecto a épocas pasadas, el tamaño se ha multiplicado casi por diez. La estación de St.Pancras, iniciada en 1863, es de 74,1m. Las luces de en torno a 30 comienzan a ser algo habitual en lugar de excepcional.

Si revisamos los procesos lógicos, es sin duda Rankine el exponente más importante. Realmente, constituye un caso excepcional en todo el XIX y de parte del XX. Enuncia los tres tipos de comprobaciones que existen: resistencia, rigidez y estabilidad.

En el caso de la viga, estable criterios para su proporción (relación canto-luz) —*proportion*— que controlen la rigidez requerida.

Enuncia el teorema de las proyecciones paralelas, de gran utilidad en el diseño de las trazas iniciales de una estructura obtenida como transformación afín de otra estructura en equilibrio.

Rankine retoma el planteamiento de Galileo del tamaño máximo. Para el caso de la viga establece el método para calcular el tamaño máximo. Para ello lleva la estructura al límite, momento en el cual toda la carga es peso propio. A partir de ahí, y mediante una regla proporcional, puede establecer cuanto consumo de material se produce en un tamaño menor. Para el caso de otros tipos más complejos, el tamaño máximo es deducido a partir de los datos conocidos de su tamaño real y su peso, partiendo de la relación proporcional general que obtuvo a partir del caso de la viga (con ello considera aspectos constructivos como las uniones, etc., de tanta importancia el peso de la estructura). Así, para arcos de acero de proporción 1-9 el tamaño máximo es de unos 200m; para puentes en cajón biapoyados de acero de proporción 1-16 el tamaño máximo es también del orden de 200m. Para la cercha de acero de tipo *Warren*, si es de —*cast iron*— la proporción la fija en 1-15 y el tamaño máximo en torno a 200 m. etc. Seguramente es la primera vez que un rango de luces se establece por un proceso lógico (a pesar de haber utilizado datos empíricos para la extrapolación). Además, la consideración de lo que llama proporción es algo muy significativo. Cuando estudia la viga se da cuenta de la gran importancia de dicho parámetro. Ahora bien, en los tipos complejos la proporción planteada se toma

a partir de las estructuras construidas. En la tabla en la que recoge los mayores puentes colgantes del momento se ve que la proporción de todos ello es siempre de en torno a 1-14. De hecho, esta proporción se variará en épocas posteriores tendiendo más al 1-10 y al 1-8.

El tipo queda entonces definido por la magnitud unitaria de las cargas exteriores, el material, las trazas generales y su proporción. Con ello se reconoce implícitamente que estos elementos geométricos tan elementales, junto al material, son una herramienta muy útil en el diseño general de la estructura. De hecho, sabemos que la bondad de lo general manda sobre la bondad de lo local. Es decir, las trazas generales mandan sobre el dimensionado en cuestiones de optimación.

Si el proceso lógico de Rankine no deja casi huella, el planteamiento presentado de los tipos sí lo hace; de hecho, se mantiene a lo largo de este siglo, aunque en muchos casos desaparece de forma inexplicable el parámetro proporción. Esta clasificación tipológica, aunque aquí ayudada de métodos lógicos, posteriormente entrará totalmente en el campo de los analógicos.

Medio siglo más tarde, cuando Steinman recopile una clasificación actualizada para puentes, además de no ofrecer el dato de la proporción general de la estructura, nos dice que no hay referencia del origen de estos datos (lo cual hace suponer que son estrictamente empíricos).

Los trabajos de Rankine se meten de lleno en el terreno del proceso lógico del diseño. Sus aportaciones conceptuales son algo único, a pesar de lo cual pasan desapercibidas y se pierden rápidamente en la literatura científica. Hay que esperar al siglo XX, con el trabajo de Ricardo Aroca, a que estos temas reaparezcan. ¿Por qué? Seguramente en ello ha influido el gran salto conceptual que suponen. El técnico ha tendido más a centrarse en los procesos numéricos de cálculo que a pensar en las variables del problema; y ésto si es un hecho que se puede contrastar a lo largo de los dos siglos analizados.

En este período, Wipple intenta obtener proporciones óptimas para puentes cerchas, aunque lo hacer para una carga puntual y llega a resultado que luego nunca usará en sus puentes.

En el terreno de la arquitectura, las luces estaban creciendo de forma más modesta, sin duda, porque las necesidades eran y son bien distintas.

En el caso de las fábricas, Rankine recoge numerosas formulaciones empíricas para su dimensionado dependiendo del tipo de trazado general, y plantea las suyas propias basadas en estructuras que considera bien diseñadas. Es decir, el enfoque aquí es analógico. Rankine no tiene pudor alguno en mezclar procesos lógicos y analógicos. Lo importante es resolver el problema, el método es secundario.

Ni que decir tiene que los procesos analógicos, existan o no clasificaciones tipológicas, siempre han existido y siempre existirán. La única forma de que no existan es andar con una venda en los ojos, y eso no siempre sucede. En estos momentos, trabajos como el de E. Ferguson han mostrado con claridad la gran repercusión de la información no verbal en los procesos de diseño. Esto es un hecho, que siempre sea bueno es otra cosa. Si la referencia era buena el resultado es bueno. En el caso antes mencionado de Rankine, en el que establece la proporción para los puentes colgantes, el proceso analógico conduce a un error. Como es lógico, el paso del tiempo hace confluir aspecto de cálculo y de diseño, y sólo cuando el conocimiento está afianzado en un terreno es cuando el proceso analógico es verdaderamente útil.

Segunda mitad del XIX

En la segunda mitad del XIX se producen importantes avances teóricos, y a finales del XIX el aparato de cálculo es ya muy compacto. Realmente podríamos decir que es en esta segunda mitad de siglo cuando la teoría de estructuras se asienta.

En el caso del hormigón la situación está algo más retrasada. Las publicaciones sobre dicho material comienza a finales de este siglo, pero su afianzamiento en construcción pertenece al XX.

La práctica va aún por delante de la teoría, y estructuras como, por ejemplo, la del puente de Brooklyn son ejecutadas avanzando por delante de esa teoría. Es importante constatar este hecho, pues es muestra de la convivencia de los procesos lógicos con los analógicos.

Los conocimientos en el material también avanzan. El 1856, los hornos *Bessemer* permiten producir acero de calidad en grandes cantidades.

Las necesidades siguen en aumento. Habría que diferenciar el caso Europeo del Norteamericano. En el primer caso, se construyó con vistas a más largo

plazo. En el segundo, las estructuras más provisionales, con abundante empleo de la madera, fueron una respuesta masiva muy económica y acorde a las necesidades, aunque conviven con puentes de acero.

De hecho, la madera en ese momento presenta en EE.UU. cotas de desarrollo muy superiores a Europa, y el repertorio tipológico de puentes de madera es amplísimo. En muchos casos, la estructura se dimensiona empíricamente. Ello es debido a que algunos tipos son de un grado de hiperestaticidad muy fuerte, combinado formas de un modo similar al de la tradición precedente en madera. En estos últimos casos, si la estructura no iba a ser calculada, que más daba aumentar el grado de hiperestaticidad. Ese concepto ni siquiera existía. De hecho, el diseño en madera de este período se apoya en gran medida en el proceso analógico, siguiendo una tradición centenaria en este material. Es interesante ver como el aparato de cálculo disponible condiciona en ocasiones la forma propuesta y la deriva hacia terrenos asequibles al proyectista.

Si analizamos las aportaciones al proceso lógico, en España se debe mencionar el caso de Joaquín Pano Ruata, con trabajos sobre el tamaño máximo que van casi en paralelo a los de Rankine, aunque ignoro si parten de él pues explícitamente no se menciona. Si es notable la ausencia de la proporción a la hora de establecer el rango tipológico de los tamaños máximos.

Uno de los trabajos más repetidos es el de intentar determinar las proporciones óptimas de cerchas tipo *Prat* y *Warren*. Si es importante destacar que el problema es considerado de importancia de un modo bastante general, y aunque la dispersión es alta, las propuestas son numerosas.

En esta época empiezan a aparecen gran número de estudios en torno a la relación entre semejanza mecánicas *versus* geométrica, siguiendo la línea que arranca en Galileo. Los resultados no informa de que, por ejemplo, para el caso del prisma rígido sometido a viento, el aumento de tamaño mejora la estabilidad. Sin enumerar otras consecuencias, lo que me parece más interesante es que estos trabajos entran de lleno en el terreno del diseño. J. Thomson y A. Barr son quizás los casos más interesantes. Las consecuencias de estos estudios son mínimas y acaban en este siglo casi en el folklore.

Maxwell, en 1890, define el parámetro —*quantity of material*— (producto de fuerza que recorre esa fuerza), y que R. Aroca ha llamado como *Cantidad de Estructura*. Enuncia lo que ahora conocemos como *Teorema de Maxwell* (de la cantidad de estructura). El paso era fundamental para los procesos de diseño. La realidad es que el teorema pasó bastante desapercibido en su momento.

Waddell, un ingeniero americano, publica varios trabajos realmente interesantes sobre formulas empíricas para la determinación del peso propio de puentes de acero de carretera y ferrocarril, tradición que se prolonga hasta la segunda mitad del XX. Se insiste en la clasificación tipológica que ya vimos en Rankine; pero su aportación teórica se pierde. Se trabaja casi como biólogos. Dado el gran número de especímenes existentes, saquemos datos empíricos de peso propio. Las fórmulas funcionaban, pero los problemas eran evidentes. ¿Qué sucede cuando se cambia, por ejemplo, el material, la proporción o el tipo de cargas exteriores?

En cada tipo analizado, y sobre todo en cerchas, se definen las *proporciones económicas* que sirven de base a las curvas tipo. De hecho, en ese momento, el valor aproximado de proporción óptima en los tipos existentes ya está cazada, aunque más por experiencia que por vía empírica. Si analizamos los grandes puentes colgantes, arcos o cerchas desde esa época hasta la actualidad, vemos que esas proporciones se ha mantenido.

Una de las cosas más interesantes de Waddell es que intenta desarrollar un proceso lógico que le permita, a través de un caso concreto empírico, obtener datos de estructuras en las que se modifique alguno de los parámetros básicos del tipo de referencia. Sus resultados no trascienden, y no son siempre generalizables.

Ahora bien; el trabajo de Waddell es único en relación a propuestas de diseño teórico-empíricas. El dato empírico es sólo tomado como herramienta, como hará Rankine, y a partir de él se intenta avanzar de modo lógico. No obstante, el planteamiento no tienen la limpieza necesaria para trascender. Por su naturaleza, su trabajo lo encuadraríamos más en el carácter lógico que en el analógico, pero el resultado final acaba siendo una herramienta claramente analógica.

De esa misma época encontramos numerosos trabajos similares al de Waddell, aunque no de tanta extensión ni calidad.

Primera mitad del XX

Hasta mediados del XX la situación prácticamente no cambia: un aparato de cálculo muy desarrollado pero con carencias significativas. El primer puente de Tacoma así lo demuestra. De nuevo podemos decir que el trabajo del proyectista de grandes estructuras no estaba lo suficientemente auxiliado por el aparato de cálculo.

En este período, algunas propuestas se dirigen a obtener métodos que permitan abordar a mano el problema hiperestático complejo. Estos enfoques mueren con el nacimiento del ordenador.

El homigón armado y pretensado comienza su andadura de forma relevante, produciendo estructuras de gran tamaño y eficacia.

A principios de siglo, Fourier asienta las bases teóricas del análisis dimensional, aunque su uso era muy anterior, como ya vimos. Rayleigh va a aplicar este método para establecer la relación dimensional de las tensiones de una estructura. La formulación es correcta y de ella se desprenden consecuencias de diseño útiles, aunque tampoco podemos decir que el trabajo tenga gran repercusión en al campo de las estructuras. En realidad, el trabajo de Rayleigh tenía un interés añadido. Se podría haber usado para esclarecer variables en distintos problemas de diseño. La realidad fue otra.

La formulación empírica de peso propio es trasladada al caso de las cubiertas de edificios. Fleming recoge numerosas formulaciones, poniendo además de relieve tanto las contradicciones internas como lo innecesario del planteamiento para las luces habituales. En edificación, los trabajos más significativos son los de Ketchum y Kidder-Parker, ambos norteamericanos.

Durante este período los enfoques empíricos para la determinación del peso propio continúan y tienen gran profusión en la literatura. Los planteamientos son similares a los de Waddell. El resultado final son las gráficas de tipo-peso y la clasificación tipológica ya mencionada de rangos de tamaño máximo por tipo.

Segunda mitad del XX

A mediados del XX, los ordenadores han permitido que los trabajos teóricos del XIX fuesen aplicados con facilidad a complejas estructuras, lo cual abrió una potencia de cálculo insospechada hasta entonces. Paralelamente al desarrollo de los ordenadores, el método de los elementos finitos ha sido la gran aportación en métodos numérico de cálculo en el siglo XX, y permite en este momento abordar el cálculo de cualquier estructura y material con una precisión suficiente. También es en la mitad del XX cuando se aborda de forma generalizada el problema dinámico.

Aparecen nuevos aceros, y el hormigón ya se hace un hueco incuestionable.

En el enfoque lógico, el ordenador acaba derivando trabajos dirigidos al desarrollo de algoritmos de optimación que no tienen una fácil aplicación en la práctica constructiva; de hecho, se han enfocado hacia estructuras de productos industrializados, y no a obra civil o edificación. Estos enfoque nacen con trabajos de Foulkes, Hemp, Prager, y retoman el teorema de Maxwell y el de Michell (de principios del XIX). De hecho, no conozco ni un solo programa comercializado en españa que tenga subrutinas de diseño para estructuras de edificación, y el panorama internacional me temo que no es distinto.

El trabajo de Ricardo Aroca constituye una excepción en el panorama actual. Asienta sus bases en el concepto de cantidad de estructura de Maxwell, y tienen retoma cuestiones planteadas por Rankine en cuanto al tamaño máximo y a la relación de rigidez con proporción. Sin embargo, el avance es notable. R. Aroca esclarece las variables fundamentales de los problemas de diseño de estructuras. Sin entrar en detalles, lo más destacables es ver que los parámetros geométricos más elementales (y por tanto manejables en las primeras fases del diseño) son de vital importancia en todos los problemas de diseño.

Las clasificaciones tipológicas de rangos de luces que arranca a mediados del XIX ya reconocen, implícitamente, la importancia de las trazas geométricas más elementales en la eficacia de una estructura. No obstante, hasta R. Aroca, las variables del problema no fueron nunca definidas con claridad, ni se avanzó de forma seria en sus relaciones.

En esta segunda mitad de siglo los trabajos en torno a la herramienta tipológica disminuyen. En general, no se entiende que sean de gran importancia, aunque el trabajo del día a día del proyectista sí son usados. No obstante, hay casos realmente significativos, sobre todo para el caso de edificación, que hasta ahora había sido poco tratado.

Hay que pensar que las grandes luces en el terreno de la edificación son de este período. Por una parte, las grandes cubiertas, con luces máximas en torno a 200 m. Por otra parte, el rascacielos, con luces máximas en torno a los 400 m. En ambos terrenos, el trabajo más destacable se encuentra en Chicago. Hablamos de Myron Goldsmith y Fazlur Khan.

En el caso de la cubierta, establecen gráficas de tamaño-peso para acero y hormigón en distintos tipos. El enfoque es por tanto similar al ya existente en puentes desde el XIX, pero que realmente no había sido necesario hasta el XX.

En el caso del rascacielos, el trabajo de Khan es del mismo tipo. De ello, el ASCE lo recoge, constituyendo uno de los pocos casos en los que estos enfoques perviven y son reconocidos por el colectivo profesional.

Hoy día son pocos los libros enfocados al diseño de estructuras que recojan de forma amplia herramientas analógicas de diseño, a pesar de tener una utilidad más que evidente. En definitiva, son pocos los autores que reconozcan la importancia de la geometría en el diseño de la estructura.

Partiendo de la herramienta tipológica existente, podríamos diferenciar, en un primer paso, la naturaleza del problema estructural sin más que establecer el tamaño de la estructura a realizar. El siguiente paso sería controlar la geometría local de modo que no debamos entrar en todas las comprobaciones necesarias.

Unos intervalos de luz representativos pueden ser los siguientes (progresión geométrica de razón 3, y que comienza en cuatro metros):

4 12 36 108 324 972 2916.

El entorno de los 324m establece el límite funcional en el terreno de edificación. No hay cubierta que necesite tener los apoyos a mayor distancia, y los rascacielos no son económicamente viables en cotas muy superiores. El entorno de los 2916 marca el límite de tamaño en puentes. No hay pasos a cubrir mayores, e incluso este límite no parece alcanzable por motivos no estrictamente estructurales.

En cada entorno, y con las herramientas lógicas y analógicas existentes hoy en día, el diseñador puede saber si las trazas generales (geometría y proporción) son viables para ese material y tamaño, o si el tipo está en terrenos lejanos a su tamaño máximo (lo cual generalmente significa que otra solución constructivamente más sencilla es más barata).

La geometría local, de gran importancia, no está hoy por hoy tan documentada. Aunque en algunos tipos la situación es bastante más halagüeña.

Conclusiones

Durante los siglos XIX y XX, las herramientas de cálculo han sido mucho más desarrolladas que las de diseño, siendo estas aún insuficientes en nuestros días.

Las herramientas lógicas de diseño no son en general conocidas ni utilizadas por el proyectista de estructuras. El enfoque lógico demuestra que la geometría es un instrumento clave en el diseño de la estructura.

La herramienta analógica tiene una tradición secular, y es de gran utilidad para las primeras fases de diseño de estructuras. La información existente es también poco conocida, a pesar de existir documentación actual que aún tiene vigor o puede ser fácilmente reutilizada.

Hoy en día, tenemos gran número de herramientas lógicas y analógicas que permiten avanzar con racionalidad y simplicidad en la elección del material y la geometría de la estructura.

Por una parte, la geometría es un parámetro de gran sensibilidad en la eficiencia mecánica. Por otra parte, la naturaleza del proceso de diseño de estructuras está íntimamente ligada la geometría. Los enfoques de diseño deben haber por tanto hincapié en los parámetros geométricos. En este sentido, parece también necesario hacer convivir los enfoques lógicos con los analógicos.

Notas

1. Fernández Cabo, José Luis: *Estructura: Tamaño, Forma, y Proporción. Los estudios teóricos y empíricos sobre peso propio a lo largo de la historia. Esclarecimiento de las variables del problema. Hacia una revisión de las herramientas y elementos del diseño de estructuras.* ETSAM, Madrid, 1998 (dirig. por R. Aroca Hernández-Ros). A ella nos referimos para un análisis bibliográfico.

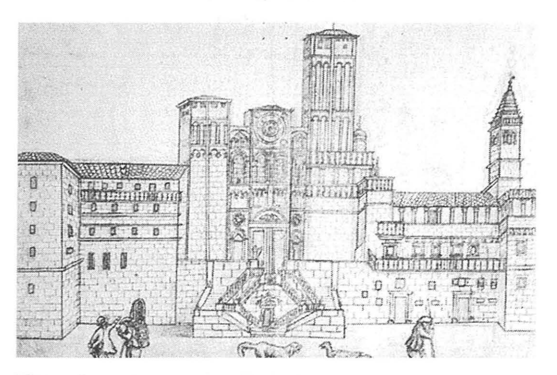
El oficio de la construcción durante el Renacimiento compostelano

José Fernández Salas

La actividad constructora en Santiago de Compostela durante el siglo XVI

Durante el siglo XVI tendrá lugar en Santiago de Compostela una febril actividad constructora que transformará su estructura medieval social y urbanística en otra moderna, acorde con la cultura renaciente del momento. Las grandes obras de esta etapa se inician con el Hospital Real continuarán importantísimas intervenciones en la Catedral, que se convertirá en un gran taller generador de innovaciones de la más variada artesanía y arte mayor. Se construyen por toda la ciudad edificios públicos, fundaciones y casas señoriales, se pavimentan calles y se construyen o arreglan fuentes. La edificación del nuevo claustro obligará a demoler el medieval, ordenando el entorno: calle del Franco, Fonseca y plaza de Platerías, eliminando las casas que estaban adosadas a sus muros. A comienzos de XVII se construye la escalinata del Obradoiro. Todo ello supone una profunda transformación de la estructura urbana alrededor de la Catedral, configurándose definitivamente las plazas de su entorno.

La importancia e influencia de la ciudad compostelana, en la que se experimenta la mejor arquitectura del momento, irradia las nuevas técnicas al resto de Galicia, avaladas por la concurrencia de los grandes maestros de cantería, procedentes de los focos más pujantes del momento: toledanos (Enrique Egas), flamencos (Cornelis de Holanda), franceses (Martín y Guillén de Colás), salmantinos (Juan de Álava y Gil de Hontañón), trasmeranos (Juan de Herrera y Gaspar de Arce), portugueses (Juan Nobre y Mateo Lópes) andaluces (Ginés Martínez de Aranda).


Figura 1

Referencias documentales

Toda esta actividad quedará reflejada en los protocolos notariales, en las actas capitulares de la catedral y en otros diversos documentos que nos permiten conocer con detalle el modo de abordar la construcción de las obras durante este periodo histórico, saber quienes fueron sus comitentes y la organización jerárquica de su promoción. En ellos se recogen las exigencias técnicas y económicas así como las garantías, que suelen abarcar a los bienes muebles y raíces

«avidos e por aver» (sic), a veces «con especial hipoteca de ellos» y con obligaciones que pueden extenderse a los sucesores

> ...dixo el dicho Jácome Garçía que se obligaba e obligó con su persona e bienes muebles e rayzes avidos e por aber, de azer e acabar a su costa e misión a la dicha cofradía e Clérigos del Coro, una capilla dentre las dos capillas de Santispíritos e San Bertolamé... [1].
> ...y por ante mi hescribano e testigos parescio presentes Benito Gonzalez cantero e dixo (...) que dende luego se obligaba y obligo con su persona e vienes muebles y raices abidos por aver con especial ypoteca dellos a todo tiempo que sea nescesario la seguridad desta hescritura y la mesma obligacion tubiesen sus herederos y sucesores... [2].

Tales exigencias constituyen verdaderos pliegos de condiciones de los que se puede deducir la estructura de los oficios, su aprendizaje y aspectos gremiales que trascienden lo meramente artesanal. También es posible extraer de dichos documentos una relación de los canteros y maestros de obras que desarrollaron su actividad durante esos años, lo que permite reconstruir la estructura del mundo de la construcción en Santiago, extrapolable a Galicia. Nos dan noticias de los tipos de materiales más frecuentes y de su localización, a veces lejana, como en el caso de la cal que se trae en barcos desde tierras de Portugal, cerca de Coimbra. Merece particular interés el léxico técnico, con expresiones tan curiosas, por habituales en el lenguaje común, como la exigencia de dejar las obras *«fechas e derechas»*

> ... La qual dicha obra an de hazer el oficial e oficiales que la tomaren, vien fecha e derecha, a plomo y cordel, y darla en perfeçión para que sea fija y duradera... [3].
> o «molientes e corrientes», cuando se trata de un molino
> ... y a de poner las canales, rodiçios, pies y capas, beos, moegas y todo lo más conbeniente para los dichos molinos e casa e darlos hechos e derechos, molientes e corrientes, en prefiçión, a bista de los ofiçiales...[4].

La cantería, oficio hegemónico

La cantería es, sin duda, el oficio fundamental de la construcción en Santiago, durante este periodo. Su preponderancia excluye de hecho a los albañiles de las tareas de responsabilidad en la obras, hasta el punto de que en ninguno de los documentos consultados se citan trabajos de albañilería ni en su lenguaje aparecen los términos albañil o albañilería. Sí aparecen, a cambio, carpinteros o herreros, que casi siempre actúan en trabajos complementarios o en reparaciones y, sólo ocasionalmente, en la obra principal, como en el caso de realizar un entramado horizontal de madera.

> ...El dicho Rodrigo de Fraga ha de haçer y labrar y asentar las dos naves altas questán en el cuerpo de la yglesia, de maderamyento viejo, que las haga y labre de maderamyento nuevo, de armadura nueva de pares y nudillo, conforme a las naves postreras... [5].

o algún tipo de trabajo de rejería, como el que se refiere a la sustentación del famoso Botafumeiro en el crucero de la catedral

> ... que se quitasen las traves o bigones grandes que atrabiesan el cinborio en que esta puesta la polea para el incensario porque quita mucha luz al choro y afean el cinborio y porque no se quitase esta antigualla del yncensario, ordenaren que entreguen de la traves se hiciese un ingenioso artificio de quatro yerros que saliesen de las quatro esquinas de sobre los capiteles de los quatro postes principales de los quatro lados del crucero, se rematasen todos en un obalo en medio dentro del qual estubiese ynclusa la polea para el incensario y que todo fuese dorado y muy bien labrado, y porque costase menos se embiase a labrar alguna herreria de Byscaya enbiando el modelo echo en madera y la medida de todo porque no se herrase, el qual modelo se hizo y armo en la claustra para que todos lo viesen»[6].

No parece que existiera una coordinación entre los distintos oficios sino, más bien, un modo independiente de contratación y ejecución de cada uno de ellos, lo que obligaba a realizar secuencialmente, es decir: sin simultaneidad, los trabajos encomendados.

La carencia de cal y su repercusión en la estructura de los oficios de la construcción en Galicia

Se achaca con frecuencia el pobre desarrollo de la albañilería en Galicia a la extraordinaria importancia histórica de la cantería, debida a su gran abundancia de granitos y también a una especie de petrofilia atávica de los gallegos. Sin embargo el argumento no

resulta convincente. En efecto, existen otros lugares, dentro y fuera de España, con similar abundancia de materiales pétreos: mármoles, calizas, granitos, etc., sin que ello haya supuesto la exclusión de un oficio, tan fundamental en la arquitectura y en la construcción, como la albañilería.

La causa habría que buscarla, más bien, en la escasez y el elevado coste de la cal y en la escasa implantación de un oficio que practicase asíduamente el ciclo de transformaciones de dicho conglomerante hasta realizar el proceso completo: extracción de la materia prima, calcinación, apagado, tamizado, hidratación, decantación, etc. En efecto, para la ciudad de Santiago la cal debía ser traída, como ya se ha citado, en barco desde tierras de Portugal.

> ...que el dicho Gregorio Fernandez aya de yr y baya a la billa de Mondego reyno de Portugal a comprar y conpre para la dicha Santa Yglesia de señor Santiago obra y fabrica della ducientos moyos de cal gallegos que hazen cien moyos portugueses poco mas o menos conforme fuere el porte del navio del dicho Gregorio Fernandez o aya de traer e traiga en el dicho nabio en otro si lo a fletare asta este reyno de Galicia a la Puente Cesures de la villa de Padron por quenta y ruego de la dicha Santa Iglesia de Santiago... [7].

Los barcos salían de Pontecesures y regresaban allí con la carga. Se habla, en algunos documentos, de los maestros de la cal, refiriéndose a portugueses,

> ... Yten, la dicha María Carrasco, fija del dicho Fernán Carrasco, testigo susodicho (...) dixo que oyra dezir a Maestre Martín, su marido, que un Maestro de Portugal le escribiera una carta diziendo que Alonso de Costa fazía allá un preçio con los maestros de la cal e que acá fazía otro con los obreros e Cabildo...»[8]

lo que indica la importancia del oficio de calero —al parecer inexistente en Santiago— cuyo gremio gozaba, no obstante, de cierta notoriedad y reputación en muchas ciudades españolas. Curiosamente tampoco se cita en la documentación consultada otro material propio de la albañilería: el yeso.

Si la sillería o la mampostería, de gran arraigo en Galicia, podían asentarse con morteros de barro, la cal era el único conglomerante que podía ofrecer entonces una cierta fiabilidad como aglutinante de los morteros utilizados para las fábricas de ladrillo, por lo que su uso hubiera permitido el consiguiente progreso de la albañilería en un territorio, como el gallego, con abundante arcilla y tradición alfarera que se remonta a tiempos prehistóricos. Sin embargo es sabido por la tradición que los peregrinos transportaban piedra caliza, como ofrenda votiva desde las montañas de Triacastela, hasta los hornos de Castañeda, cerca de Santiago. Ello debía suponer un cierto abastecimiento de este material para las obras de la Catedral pero no en suficiente cantidad, o calidad, para garantizar el suministro necesario. Este aspecto requerirá nuevas aportaciones para interpretarlo con criterios más ajustados. En todo caso se puede deducir que, como consecuencia de la dificultad para obtener la cal, entre otras causas, la albañilería o no existió claramente como oficio o quedó relegada en Santiago a una artesanía menor o auxiliar, que contrasta con el alto nivel de su cantería y aunque no sería rigurosa la extrapolación de este hecho al resto de Galicia, no es descabellado pensar que debió tener una considerable repercusión dada la pujanza, el esplendor y la influencia paradigmática de los oficios artesanales vinculados a la arquitectura de la ciudad compostelana.

La construcción en mampostería de piedra y barro

En casi todos los contratos se establece un tipo de construcción de muros con piedra y barro

> ...Quel dicho Fernando de Devesa le avía de fazer un suelo en el segundo sobrado de la casa (...) En el qual dicho suelo ha de aver quatro trabes labradas y asentadas en la pared y sutillarlas de piedra y barro ... [9].
> ...Que el dicho Gregorio de Robyn ha de fazer dos nenbros de pedra de losa e barro, de cada uno de ancho la pared de los dichos nyenbros, cada uno quatro pies en ancho... [10].

dejando la cal sólo para proteger las juntas por el exterior y, a veces, para el revestimiento continuo de la fachada. En muy contados casos la cal se utiliza como conglomerante básico. Como suele ocurrir casi siempre, los materiales disponibles resultan así determinantes de los sistemas constructivos y éstos limitados por las carencias pero, tal vez por ello, resueltos con gran esfuerzo de imaginación. En este sentido hay que resaltar la riqueza de soluciones de mampostería existentes en Galicia y en el norte de Portugal, tanto en el medio urbano como en el rural , bien sea con elementos de excelente labra y de dimensiones

casi ciclópeas (monasterios de Armenteira, Melón, Santa Mariña de Augas Santas, casas rurales de Cea, mercado medieval de A Golada, muralla de Fortaleza en Valença do Minho) o basados en la naturaleza foliácea y facilidad para el asiento de otro material, la pizarra, como en la muralla de Lugo, poblado de O Cebreiro, casas rurales de Terra Cha o infinidad de soluciones cuya descripción rebasaría, ampliamente el ámbito de este trabajo. Tal vez sean estas las mejores y más genuinas manifestaciones de su construcción autóctona, dignas de un profundo estudio etnográfico aun por abordar.

El recebo

En la construcción de sillería, la perfecta labra de los lechos de los sillares hace innecesario el mortero o éste cumple símplemente una función auxiliar para regularizar el asiento. En la mampostería, por el contrario, el mortero resulta esencial para estabilizar la irregularidad de las piezas que forman la fábrica, cuyo asiento no sería posible sin aquél. La utilización del barro para tal fin en la construcción vernácula de Galicia, implica la ineludible protección de las juntas en el paramento con un material más consistente, la cal, para evitar su disgregación por la lluvia o el viento. Este sellado o *recebo*, que cumplía la finalidad de protección referida, ha venido a ser con el tiempo un término de extenso arraigo en el léxico gallego de la construcción a modo de comodín que designa hoy, genérica y abusivamente, cualquier tipo de revestimiento continuo.

La organización de las obras y los maestros menores

La estructura de las obras era muy sencilla. Se manejaban técnicas artesanales dominadas por oficiales y maestros canteros, de modo que cualquier obra común podía ser realizada por ellos sin ningún tipo de aportación externa. Muchos de ellos no saben leer y escribir, por lo que necesitan otro firme en su lugar.

> ...Han de firmar Gómez Ballo, testigo del señor Abad Corneda, e Pedro Guillelme e Gonzalo Vázquez, su criado, los quales tienen de firmar por ruego de los otorgantes porque no saben firmar... [11].

Estos oficiales y maestros menores desarrollan la mayor parte de la actividad constructiva, llegando a ser, en muchos casos, los verdaderos artífices de las grandes obras compostelanas de este periodo histórico. Muchos no saben leer y escribir, por lo que necesitan otro firme en su lugar. Éstas, excepto casos especiales, se ejecutan siguiendo cánones consuetudinarios que varían poco: espesores de muros, altura de techos, molduras, cornisas, dimensiones de huecos, materiales y técnicas constructivas, etc. que eran comúnmente admitidos:

> ...Jácome Garçía, pedrero, e de la otra parte Alvaro de Meylán e Rodrigo de Guerra, pedreros, vezinos de la dicha çibdad, questavan presentes, se ygualaron e conçertaron e fezieron la yguala e conçierto en la forma seguiente: «Que los dichos Alvaro de Meylán e Rodrigo Guerra han de coger y sacar al dicho Jácome Garçía ciertas piedras y quantos (...) Cada piedra que tenga la gordura de la pared y an de tener dos palmos en alto y más, sy podiere (...), e la doela [12] un pie, y más sy más podesen (...) y an de benyr cogidas las dichas piedras por el contramolde quel dicho Jácome Garçía oviese menester (...)Y más que ayan de coger todas la coronas (...) de la altura de cabstra[13], del alto y gordo y ancho no desçiendan. (...) Yten más, ocho pieças de sillares de gordura de la pared, y an de coger por sus contramoldes. (...) Las quales dichas piedras los sobredichos an de coger y sacar en la Ameyxenda e Cortegada [14] e no más lexos... [15]
>
> ...E la casa ha de thener sobre tyerra honze cobados en alto, o lo más o menos quel dicho Martín Galos pereçiere, e la torre quatorze cobados [16] en alto. E ha de aber la dita parede en ancho, de baxo de terra, quatro palmos e medyo, e sobre tyerra, fasta el primo sobrado, quatro palmos, e dende arryba, tress e medyo (...) e los lyenços de la parede han de ser de manposterya, e las esquinas de grano [17], con sus cantos e poscantos (...) E medyda la dicha obra de barro e grano, todo por braça...»[18]

Tales trabajos sólo requerían oficio y capacidad de organización por parte de los canteros. Incluso en el caso de intervenir un tracista o maestro mayor, éste aporta exclusivamente la muestra o traza que define la forma sin entrar en detalles constructivos, ocupándose el maestro menor del aparejo de la fábrica y de su intendencia.

> ...estando presente Jácome Garçía, pedrero, veçino de la dicha çibdad, luego todas las partes de suso nonbradas presentaron ante my, el dicho notario e testigos,

> çiertos capítulos e condiçiones que en sus manos trayan fermados de Juan d'Alava, maestro de la Claustra de la dicha Santa Yglesia, su tenor de las quales dichas condiçiones, de verbo adverban es esto que se sigue.(...) Primeramente, dixo el dicho Jácome Garçía que se obligaba e obligó con su persona e bienes muebles e rayzes avidos e por aber, de azer e acabar a su costa (...)e misión a la dicha cofradía e Clérigos del Coro, una capilla (...) dentro de la dicha Santa Yglesia de Santiago (...) al thenor e forma de las dichas condiçiones (...)conforme a una muestra e traça questaba fermada del dicho Juan d'Alava que luego mostró e presentó, fecha en pergamino de cuero... [19].
> .. los dichos canónigos e Françisco Sánchez daban cargo de la dicha obra e el serviçio della, como se deviese de fazer, al dicho Maestre Martín, para que la heligiese e fiziese muestra de cómo la yglesia e obra de San Roque avía de ser fecha e labrada y hedificada e tener cargo de los ofiçiales e mandarles lo questán de hazer e labrar en la dicha obra, conforme a la dicha muestra y traça (...) los dichos señores canónigos e Françisco Sánchez dixeron que sy el dicho Maestre Martín toviese nesçesidad de yr para alguna parte e la dicha obra no fuese acabada, quel dicho Maestre Martín fuese obligado de dexar la muestra por la de se eregir la dicha obra, ansy la del elegimiento, no la de las capillas e portada. E que los dichos canónigos e Françisco Sánchez le ovyeren de pagar al dicho Maestre Martín, por rasón de la dicha muestra, dos ducados de oro... [20].

Maestros de cantería y aparejadores

El concepto de maestro resulta un tanto ambiguo y confuso en el siglo XVI. Un mismo cantero puede ser citado en algunos contratos como maestro de cantería o pedrería y como simple oficial en otros. Por lo que se deduce de muchos contratos el término maestro define, más que la maestría en sí, la condición de contratista, similar a lo que entenderíamos hoy por tal profesión[21].

En ocasiones el maestro figura como aparejador:

> ... se decreto según la constitucion de lo deshazer del relox y se ponga en la parte e lugar do Matheo Lopes maestro de obra tenga traçado en la traça (...) con los oficiales y lo que concertare se libre y el concierto se haga a Benito Gonçales aparejador del monasterio de San Martin según se contiene en el libro y claustro a que me refiero... [22].

En muchos casos el oficio que desempeña el aparejador tiene la misión técnica de controlar los materiales y la ejecución de las obras, así como la de medir y valorar, lo que guarda cierta similitud con el ejercicio profesional de los aparejadores o arquitectos técnicos actuales:

> ...y dize más, que de toda la pedra que dan a sacar syn ser resçebida por el aparejador y tomada en quenta e no se devya de acabar de pagar (...) y que toda la pedra que biene la resçibe el aparejador e la tasa e mide (...) Y dizenque be que el aparejador trabaja bien su ofiçio y, en lo que puede, ayuda e faboreçe al probecho de la obra, ansí en el tasar del carreto como en dar las pedras a los ofiçiales a destajo, a sacar en el monte e que lo faze tan bien que haze mal a otros quando se monta los destajos del monto e al probecho de la obra (...) E quel aparejador se quexaba dél porque no escribya las piedras cada una como hera, e questo es verdad e la marcó de su marca...»[23].

Otras veces el aparejador interviene como contratista:

> En este cabildo los dichos señores aprobaron y ubieron por bueno el remate que a sido echo a Benito Gonzalez Aruajo, aparejador de San Martin, de la obra de Santa Susana en mill ducados y se mandaron se reciba la scritura de la fianza... [24].

El aparejador trabajaba habitualmente a pie de obra y debía ser avisado cada vez que se producía un acopio de materiales o cualquier actividad que requiriese su control. No queda claro que el aparejador fuera siempre el jefe de obra, sino más bien un coordinador técnico. Es curioso al respecto que algunos arquitectos actúan, o se denominan a sí mismos, aparejadores de determinadas obras[25].

Maestros mayores

Donde la maestría resulta indiscutible es en el caso de los maestros mayores, casi siempre tracistas, geómetras, con buen nivel cultural y, en muchos casos, no residentes en el lugar de las obras. Habitualmente vienen de fuera, llamados por su fama, o son contratados para que realicen determinadas visitas o permanezcan un tiempo más o menos prolongado en el lugar. Tal es el caso de Juan de Álava o el de Rodrigo Gil de Hontañón:

> En este cabº los dhos ss[es] mandaron al senor canº Pº maldonado obrero de la fabrica desta S.Y.(...) y pague a Rº Gil cien ducados q lha dever por la venyda q bino de Castilla a ver la torre e obras q se ande hazer en esta S. Y. E tome qta a senor chantre revellon de lo que gasto con el dho Rº Gil todos los dias q se detuvo en esta cabdad. [26].

Suelen realizar las trazas o muestras con las que se desarrollará el edificio, en pergamino[27] o en papel de marca mayor. Esta traza, se suele valorar como propiedad intelectual que pertenece a su autor y que, si éste marcha de la obra, hay que pagar para poder disponer de ella.

> ...E que los dichos canónigos e Françisco Sánchez le ovyeren de pagar al dicho Maestre Martín, por rasón de la dicha muestra, dos ducados de oro...» [28].

Las trazas debían ser sencillas a juzgar por algunas muestras conocidas, que definen las plantas o los alzados sin entrar nunca en el detalle, o esbozan símplemente las obras que luego serán desarrolladas por maestros menores. Atienden a diversas obras, distantes entre sí, lo que les obliga a viajar continuamente. Sólo en algunos casos, cuando se trata de edificios de cierta importancia, se exige la presencia asidua a pie de obra, penalizando incluso los incumplimientos.

> En este cabildo los dichos señores ordenaron y mandaron que el señor canonigo Alonso Lopez, fabriquero, buelba a resçebir a Gaspar de Arce, aparejador, con el salario ordinario y se le advierta por parte del dicho visitador que asista con continuidad y puntualidad a su officio no haciendo falta y si la hiciere que se la descuente. [29].

El ejercicio profesional de los maestros mayores consiste básicamente en facilitar las trazas del edificio, como ya se ha indicado pero, frecuentemente, son llamados, individualmente o en grupo, para que aconsejen sobre problemas de patología o sobre cualquier reforma o modificación de una obra en curso[30].

Durante esta etapa se mantiene aun un importante número de maestros mayores cuyo aprendizaje se había realizado en la obra. Eran maestros con oficio que, además sabían trazar y componer: Antón y Enrique Egas, Covarrubias, Juan de Álava, Mateo López, Gaspar de Arce, etc. Algunos, incluso escribieron tratados, como Rodrigo Gil de Hontañón o Ginés Martínez de Aranda. Y todos, sin excepción, eran conocidos o se llamaban a sí mismos maestros de cantería. Muy raramente se utiliza el término arquitecto, para designarlos. Eran los proyectistas de entonces, pero también mantenían su condición de grandes constructores. Esta última, compartida con los maestros menores, permitía una excelente vertebración de los métodos de trabajo, de modo que el funcionamiento de las obras, una vez definidas las trazas, era algo perfectamente estructurado, que podía llevarse a cabo sin la vigilancia permanente del maestro mayor.

Organización del oficio de cantería

El encargo del material se hace siempre exigiendo un primer trabajo de desbaste, escuadrado y aproximación a la forma definitiva en la cantera, lo que nos indica una clara división del trabajo. Había canteros o pedreros sacadores o cogedores, encargados de extraer la piedra de la cantera y canteros de obra, que remataban la labra y efectuaban la montea. Por ello el encargo se describe minuciosamente, indicando que las piezas encargadas deben venir ajustadas a las plantillas, escuadradas *(«debaxo de esquadra»)* y *escodadas* en muchos casos.

> ... y an de benyr cogidas las dichas piedras por el contramolde quel dicho Jácome Garçía oviese menester (...) Yten más, ocho pieças de sillares de gordura de la pared, y an de coger por sus contramoldes.... [31].

Esta práctica resultaba extraordinariamente eficaz. En efecto: responde a una lógica de economía en el transporte, si tenemos en cuenta que el volumen y el peso neto de un sillar, cortado por procedimientos tradicionales, puede estar entre un 50% y un 70 % del sólido en bruto que lo contiene. Así el número de viajes de abastecimiento a la obra se reducía considerablemente, algo de extraordinaria importancia en unos tiempos en que los medios de transporte eran rudimentarios y penosos, máxime si se trataba de un material tan pesado como la piedra, cuyas canteras solían ubicarse en lugares de difícil acceso.

No es nueva esta forma de trabajar que ya se practicaba en el templo de Salomón, según nos dice el Libro de los Reyes:

...El templo se construyó con piedra labrada ya en la cantera; durante las obras no se oyeron en el templo martillos, hachas ni herramientas... [32] .

Pero no sólo se consigue así un transporte menos penoso. También se aprovechan las mejores condiciones para la labra realizando el grueso del trabajo cuando la piedra está «fresca», recién extraída, con la humedad de cantera que la hace más dócil para las herramientas. Así lo aconseja Alberti inspirado en Vitrubio:

La piedra reciente y húmeda con el jugo materno es muy tierna, pero después de secarse se hace durísima... [33]

Los canteros de conocían la anisotropía de la piedra que obliga a disponer la fábrica de modo que las cargas sean perpendiculares al lecho, que corresponde a la superficie de estratificación, por ello es necesario que se identifique esta cara en los sillares, señalándola con una marca:

... todos los dichos sillares y piedras susodichas que bengan leytadas... [34].

Pero no basta con el cumplimiento de las condiciones indicadas. La homogeneidad de la piedra y su calidad obligan a una elección cuidadosa de la cantera. En dicha elección también influye la distancia a la obra.

...Las quales dichas piedras los sobredichos an de coger y sacar en la Ameyxenda e Cortegada e no más lexos... [35].

El trabajo se paga por piezas o a destajo:

... Y dizenque be que el aparejador trabaja bien su ofiçio y, en lo que puede, ayuda e faboreçe al probecho de la obra, ansí en el tasar del carreto como en dar las pedras a los ofiçiales a destajo, a sacar en el monte...»[36].

Habitualmente estas plantillas obedecían a elementos comunes y sólo excepcionalmente a diseños singulares o novedosos, lo que permite mantener ininterrumpida la actividad en las obras. Determinados motivos ornamentales, formas, molduras y elementos arquitectónicos se repiten una y otra vez, lo que permite eliminar incertidumbres y perfeccionar su construcción y su adecuación funcional. Hay toda una labor artesanal de perfeccionamiento de sistemas y elementos constructivos que sustenta la concepción arquitectónica integrando arte y técnica, diseño y construcción.

Existen en Santiago varias canteras que suministran habitualmente la piedra necesaria para las obras: las más citadas son las del Monte Pedroso la de la Ameixenda y la de Francos. En algunos contratos se especifica que la piedra ha de proceder de alguna de ellas o, incluso que no sea de tal o cual cantera.

La contratación de las obras

Los contratos definen claramente las partes que intervienen y los compromisos de cada una de ellas. No se puede afirmar que todo lo contratado se haya escrito, pero llama la atención la gran cantidad de documentos relativos a las obras y el cuidado y detalle con que se especifican las relaciones entre las partes, las penalizaciones en caso de incumplimiento y otros aspectos de menor importancia aparente, como si no se quisiera dejar nada al azar. Si dos o más canteros se comprometen a realizar un trabajo y luego uno desea abandonar o ceder su parte a otro, se hace un documento para cada caso. También se formalizan documentos de pago o finiquito e, incluso, de protesta, si alguno no ha cumplido con su parte.

Todos los contratos ofrecen garantías, que habitualmente comprenden todos los bienes muebles y raíces «habidos y por haber» e incluso afectan a los herederos o sucesores en los compromisos adquiridos[37], por lo que para cualquier maestro-contratista de la época lo más importante era tener solvencia económica o, en su defecto, fiadores, para poder contratar.

...e por seguridad delo, dieron por sus fiadores, debdores e prinçipales pagadores, Alonso de Gontyn, pedrero, e a Glaude, pichelero, veçinos de la dicha çibdad, questaban presentes, los quales por tales sus fiadores, devdores e prinçipales pagadores e se obligaron con sus personas e bienes (...) que los dichos Maesre Martín e Maestre Guillén gastarían e labrarían en la dicha portada obra que montase los dichos çient ducados, e si no lo hizieren, que todo lo questaba por conplir lo pagasen de sus personas e bienes... [38]

En la mayoría de los casos las obras son contratadas por dos o más canteros, que deben ofrecer garantías conjuntas y solidarias.

...Jácome Garçía, pedrero, e de la otra parte Alvaro de Meylán e Rodrigo de Guerra, pedreros, vezinos de la dicha çibdad, questavan presentes, se ygualaron e conçertaron e fezieron la yguala e conçierto en la forma seguiente: «Que los dichos Alvaro de Meylán e Rodrigo Guerra han de coger y sacar al dicho Jácome Garçía ciertas piedras...»[39].

Ello hace que los gremios funcionen a modo de sociedades de garantías recíprocas en las que sus miembros se avalan unos a otros.

De la estandarización de las obras nos da buena idea la facilidad con la que se subcontratan o se traspasan las partes o el todo. Resulta habitual contratar una obra y después compartirla con otros o llegar a cedérsela en su totalidad.

...paresçió presente Juan Pérez, cantero, estante en la dicha çibdad, e dixo que, por quanto en él fuera y estava rematada la obra delantera que se avía de hazer de pedrería y cantería de la casa del estudio, syta en la Rua Noba desta dicha çibdad (...) por çiertas causas y raçones que para lo ynfraescripto le movían y mobieron, desde agora, dezía e dixo que relajava y traspasava, relaxó y traspasó, dexava e dexó la dicha posta y remate de la dicha obra en la casa del dicho colegio en Alvaro González e Juan do Canpo e Juan da Cruz, pedreros, veçinos de la dicha çibdad, questavan presentes... [40].

La continua necesidad de seguir contratando obras para mantener la actividad constructiva impediría a los maestros atender a todo su trabajo, si no dispusieran de colaboradores porcioneroso de subcontratistas que les permitan la subrogación de las obligaciones contraídas, lo que no parece ser ningún problema para la propiedad de las obras, a la vista de la frecuencia con la que se realiza este tipo de transacciones.

... e vos, el dicho Juan de Lemos, por la amystad que vos nos teneys, e nos avos, es vuestra voluntad darnos en porçión la dicha obra, e darnos a todos parte della, e nos ansy lo queremos e vos lo agradesçemos. E por onde, todos juntos que presentes somos, desymos que (...) otorgamos e conosçemos que entramos por porçioneros con vos, el dicho Juan de Lemos, e yo, el dicho Juan de Lemos, ansy vos recibo por conpaneros e porçioneros... [41].

En ocasiones se producen reclamaciones o pleitos por incumplimientos derivados de este tipo de negocios.

La calidad de las obras

Existe un denominador común en la mayoría de los contratos. Es habitual la exigencia de que las obras se entreguen *«fechas e derechas», «en perfección»* y *«a vista de oficiales».*

... E que los conbados fuesen de buen grano, cruçetas e trabes e conbados e pendremes que faltaren, eçeto la questá en la obra que han de recalar (...) otra pedrería de la forma sobredicha. Ha de ser a bysta de ofiçiales ...»[42].

Son éstos, habitualmente uno por parte de la propiedad y otro por la del contratista, quienes decidirán la idoneidad del trabajo realizado.

...Otrosy quedó asentado, por que el dicho obispo no sabe tanto de obras y le paresçe que el hospital va defraudado e engañado en tan grande suma, que acabada la dicha obra se elixan dos maestros que sepan, y con juramento de dios en sus conçiençias, la tasen e moderen, y sy está conforme la obra con la muestra y deseño susodicho, como tanbién en el preçio, y si se allare que en algo es defraudado y ha reçibido engaño, que el hospital, a vista y paresçer dellos, se desaga el engaño y sy, por ventura han hecho más obra y mejor y que valga más del dicho preçio e suma, que en tal caso, desde agora, graçia dello al hospital de su libre y propia voluntad, e no queren ny piden que se les de ny paque cosa alguna dello (...) Que fue fecho el dicho asyento por las dichas partes en la villa de Castropol, dioçesis de Oviedo... [43].

Se especifica en ocasiones que los trabajos han de hacerse *a plomo y a cordel.* Las piedras han de ser de *muy buen grano* de venir *bien leytadas,* es decir con el lecho marcado. Cuando se trata de su labra se dice que serán *devaxo de esquadra segund costunbre,* bien *escodadas,* según los casos. Se excluyen, incluso, ciertas canteras (*con tanto que no fuese en la cantería de Francos)*

.. La qual dicha pedrerya arriba dicha e declarada, según de suso se contiene, fuese de muy buen grano y desbastada e cogida por los contramoldes e prantas e galgas, sufiçiente para la obra que le fuesen dadas y sufiçientes para la obra según está la otra e que les fuere asenalada. E que la dicha pedrería obyesen de dar desbastada devaxo desquadra, segund costunbre, honestamente, como se hazía en la çibdad (...), con tanto que no fuese en la cantería de Francos. (...) e se obligaron con sus personas e bienes, de luego yr a en-

tender en la dicha obra a de no llebantar la mano della, ni entender de otra obra hasta que lo feziesen e acabasen, segundo dicho es, e que no lo faziendo, ellos e cada uno dellos, conforme a lo arriba contenydo e conforme a lo que dicho es, que a su costa dellos e cada uno dellos, se tomasen ofiçiales para que lo hiziesen e conpliesen...[44].

A veces es un maestro el encargado de supervisar la ejecución del trabajo, lo que se refleja en el contrato. En obras de importancia se nombran veedores que suelen ser dignatarios de cabildos o instituciones, aunque también puede recaer dicha misión en un maestro de reconocido prestigio.

... para que las obras fuesen adelante y se procediese en ellas adelante asta acabar conforme a la constitucion nonbrando a los señores cardenal Represa, don Francisco de Avallaneda, dotor Palacios y canonigo Luis de Soto con las mas señorias prebendados que se quisieren allar presentes y vean la dicha obra y el perescer del dicho maestro y que se traiga relacion al primero Cabildo para que conforme a ello se proceda lo que se a de hacer. [45]

Sistemas de pago

Los medios de pago adoptan variedades que van desde la retribución en especie: centeno, vino, aceite, etc., hasta el dinero (maravedíes simples o pares de blancas, ducados, etc.) que es lo más frecuente.

...E más el dicho señor Martyn le ha de dar cal, arena, clabos e madera e carreto de varro, e más le ha de dar seys fanegas de pan, medio millo e medio çenteno, pago por los terçios de la dicha obra ... [46].

Por lo que respecta a los plazos para pagar, lo más habitual es hacerlo por tercios, de modo que el primero se satisface en el momento de la firma del contrato, el segundo mediada la obra y, el tercero al terminarse ésta a satisfacción del propietario.

... Y el dicho Maestre Martín ha de fazer un estanfix de xaspe con su base labrada de moldura romana rasa (...) dicho Cardenal Alonso Alvino le ha de dar e pagar de la dicha obra çient mill maravedíes pares de blancas pagos por sus terçios, que como fuere haziendo la dicha obra que ansy le avía de pagar... [47].

El aprendizaje del oficio

El aprendizaje es casi siempre objeto de contrato, en el que se determinan los plazos y la relación del aprendiz como criado del maestro. Éste ha de enseñarle el oficio en un plazo que varía entre uno y medio y tres años (lo más habitual). Durante dicho periodo el maestro ha de mantener al aprendiz y suministrarle ropa y herramientas a cambio de unos estipendios establecidos y del trabajo gratuito de éste en la obra.

...paresçieron presentes Esteban Rodríguez, pedreyro, veçino de la dicha çibdad, e Françisco Dezido, e se conçertaron e ygualaron en la manera e forma seguiente: Quel dicho Esteban Rodríguez ha de tener en su casa e conpanya al dicho Françisco Dezido, por tiempo y espaçio de tres años (..) e durante el dicho tiempo, el dicho Esteban Rodríguez le ha de aveçar al dicho Françisco Dezido, el ofiçio de pedrero de manpostería e cantería, e darla aveçado por manera que pueda ganar jornal, e no lo dando aveçado durante el dicho tienpo, fasta que lo dee aveçado le ha de dar cada dya un real de jornal fasta que sea ofiçial del dicho ofiçio. E más le ha de dar de comer e beber, cama e posada todo el dicho tiempo, y ropa, çapatos y camysas con que pueda trabajar durante los dichos tres años en el dicho ofiçio. E en fin del dicho tiempo le ha de dar una capa de Londres e un sayo de palmylla e un par de camysas e un par de çapatos e más la ferramenta que se acostumbra dar entre ofiçiales del dicho ofiçio a los que salen de aprendizes... [48].

El aprendiz no puede faltar al trabajo, o será sancionado y deberá pagar (él o sus padres) los jornales necesarios para su sustitución durante el tiempo que falte. En algún caso se le imponen penas de cárcel si falta a estas condiciones. Estas penas las asumirá, recíprocamente, el maestro si rescinde el contrato.

El aprendizaje abarca los conocimientos básicos del oficio. El corto espacio de tiempo dedicado al mismo y el hecho de que se faciliten como herramientas elementales que no siempre se describen indica que las operaciones a realizar no pueden ser de gran finura. Se enseñan fundamentalmente las técnicas de desbastar, escuadrar y asentar la piedra. La talla más delicada requiere experiencia y tiempo, lo que no se indica en ningún caso, ni sería posible conseguir en tan corto periodo.

Cabe pensar, por el carácter un tanto oscurantista que tenían las organizaciones gremiales, que estos conocimientos fueran siempre limitados al mínimo,

de modo que en todos los contratos se trata de garantizar un nivel mínimo aprendizaje que permita al discípulo ganarse la vida final del periodo estipulado. Si no se cumple este objetivo, el maestro se obliga a proseguir la enseñanza y a mantener gratuitamente al aprendiz por el tiempo que sea necesario para lograrlo, pagándole entretanto un salario.

Observación final

Las aportaciones que se hacen en la presente comunicación son parte de un trabajo más amplio y se limitan a las condiciones de espacio requeridas por la organización del congreso, por lo que el objetivo de dichas aportaciones consiste en ofrecer algunos aspectos del tema tratado que, de ningún modo, puede tratarse de modo exhaustivo en estas circunstancias.

Notas

1 Contrato con Jácome García para construir la Capilla de los Clérigos del Coro. ACS:Colección de documentos sueltos Nº 137. Notario: Rodríguez de Saavedra. 30. 06.1523.

2 Obras del reloj en el colegio de la Universidad AHUS: Serie historica: Libros.Registros. Leg. 3. f. 19-20. 10.02. 1599.

3 *AHUS: Pº 170, doc. 38; Notario: Lorenzo de Ben. 19. 12.1536.* // Contrato entre el notario Macías Vázquez y los canteros Alvaro de Meylán, Juan Pérez y Antonio Alvarez para la construcción de una pared en una huerta del dicho notario.

4 Contrato del notario Juan Peres con el pedrero Gregorio de Framil para la construcción de una casa y un molino junto al Río de San Lorenzo. AHUS: Pº 91, f. 381-382. Notario: Macías Vázquez, 08. 08.1542.

5 Contrato del carpintero Rodrigo de Fraga con el Monasterio de Santa Clara para hacer una cubierta de madera. AHUS: Pº 30, ff. 36-37. Notario: Macías Vázquez, 01.1524.

6 Sustentación del incensario de la Catedral de Santiago. ACS.Actas Capitulares, 1600-1603, Libro XXI, f. 162 r-v, 24. 05.1602.

7 Compra de cal en la «billa de Mondego reyno de Portugal« ACS: Registro de los papeles, escrituras y despachos de la obra y fabrica de la Santa Yglesia de Señor Santiago desde el año 1618 en adelante, f. 79. 13.03.1620.

8 Información sobre ciertas irregularidades del escribano Alonso da Costa. ACS: Colección de documentos sueltos Nº 36. Notario: ?. 16. 06.1521.

9 Contrato de obras entre Fructuoso de Ulloa y Fernando de Devesa para hacer un entramado de madera. AHUS: Pº 32, ff. 78-79. Notario: Macías Vázquez. 21.02.1524.

10 Contrato con el pedrero Gregorio de Robin para hacer dos niembros de losa y barro. AHUS: Pº 166, ff. 100-101;Notario: Lorenzo de Ben, P.01. 06.1532.

11 Colección de documentos sueltos Nº 66. Notario: Alonso Rodríguez. 9.05.1521

12 *Doela:* dovela.

13 *Cabstra:* claustro.

14 *Ameyxenda e Cortegada:* Canteras próximas a Santiago.

15 Contrato del maestro Jácome Garçía con Alvaro de Meilán y Rodrigo Guerra sobre el suministro de piedra para la Capilla de Mondragón. ACS: Colección de documentos sueltos Nº 145. Notario: P. L. de Ben. 2. 11.1525.

16 *Cobados:* codos.

17 *Grano:* granito.

18 Contrato que hace Martín Galos con el cantero Vasco Darxis para que le construya una casa torre.AHUS: Pº 69, ff. 267-268. Notario: Macías Vázquez. 14. 12.1535.

19 Contrato con el maestro Jácome García para construir la Capilla de los Clérigos del Coro según muestra de Juan de Álava ACS: Colección de documentos sueltos Nº 137. Notario: Rodríguez de Saavedra. 30.06.1523.

20 Contrato con el Maestro Martín para edificar la iglesia de San Roque. ACS:Colección de documentos antiguos,Tomo III, ff. 323v-324.Notario: ?, 5.08.1520.

21 Véanse notas anteriores.

22 Reloj de la Universidad. Traza de Mateo Lopez. AHUS: Serie histórica:libros.Registros. Leg. 3. f. 26 r. 22.071600.

23 Claustro de la Catedral: Información sobre ciertas irregularidades del escribano Alonso da Costa ACS: Colección de documentos sueltos Nº 36. Notario: ?. 16.06.1521.

24 Fianza por la Obra de Santa Susana ACS: Actas Capitulales, Libro XXI-Bis, f. 64 r. 19.08.1602.

25 Juan de Torija en su «Breve tratado de todo genero de bóvedas» (Madrid,1661. Edic. facsímil en Valencia, Albatros, 1981) se denomina a sí mismo Arquitecto y Aparejador de las obras reales.

26 ACS: LF. Notario: Alonso Rso , 11.10.1555.

27 Véanse notas 18 y 19.

28 Contrato con el Maestro Martín para edificar la iglesia de San Roque. ACS:Colección de documentos antiguos,Tomo III, ff. 323v-324.Notario: ?, 05. 08.1520.

29 ACS. Readmisión de Gaspar de Arce Solórzano como aparejador de la Catedral Libro de Actas Capitulares, 1603-1609. Libro XXII. f. 250 r. 07. 04.1606.

30 En 1521 son llamados a consulta, por el Cabildo de la Catedral de Santiago: Juan de Badajoz, Rodrigo Gil, Juan de Álava y Alonso de Covarrubias para determinar cómo debían abordarse las obras de la «nueva claustra».

Cfr. López Ferreiro: Historia de la Santa, A. y M. Iglesia de Santiago de Compostela. Santiago, 1905.

31 Contrato del maestro Jácome Garçía con Alvaro de Meilán y Rodrigo Guerra sobre el suministro de piedra para la Capilla de Mondragón. ACS: Colección de documentos sueltos Nº 145. Notario: P. L. de Ben. 1525.11.02

31 Schökel L.A. Biblia del Peregrino. Antiguo Testamento. Libro de los Reyes. Construcción del Templo de Salomnón. II. Cr. 3-4. Vers 7-8.

32 Alberti, J. Baptista: «De re aedificatoria». Libro Segundo pág. 51

33 Idem. nota 31. *Leytadas:* con el lecho marcado (*leito o leyto:* lecho).

34 Idem. nota 31.

35 Idem. nota 23.

36 Idem. nota 31.

37 Véanse las notas 1 y 2.

38 Contrato con los Maestre Guillén y Maestre Martín sobre la Portada del Hospital Real ACS: Colección de documentos sueltos Nº 6. Notario (¿?). 11. 01.1519.

39 Contrato con Jácome Garçía y otros para hacer la bóveda de la capilla del Hospital Real. ACS: Colección de documentos antiguos, tomo VIII, ff. 178.180. Notario: Vasco Marcote. 15. 04.1527.

40 Traspaso de la obra del Estudio Viejo, contratada por Juan Pérez a los pedreros Alvaro González, Juan de Campo y Juan da Cruz. AHUS: Pº 196, f. 56; Notario: Marcos Fernández, 20. 07.1534.

41 Obras del Palacio Arzobispal. AHUS:Pº 3,s.f.Notario:Gómez de Barral. 18. 05.1511.

42 Contrato con Jácome Garçía y otros para hacer la bóveda de la capilla del Hospital Real. ACS: Colección de documentos antiguos, tomo VIII, ff. 178.180. Notario: Vasco Marcote. 15. 04.1527.

42 Contrato con Jácome Garçía y otros para hacer la bóveda de la capilla del Hospital Real. ACS: Colección de documentos antiguos, tomo VIII, ff. 178.180. Notario: Vasco Marcote. 15. 04.1527.

43 ACS: Colección de documentos sueltos Nº 6. Notario: ?. 1518.12.29

44 Contrato de suministro de piedra a la obra del claustro de la catedral de Santiago. ACS:Colección de documentos
sueltos, tomo VI, f. 123.Notario:Vasco Marcote. 16. 09.1527.

45 Construcción de la Torre de la Vela ACS. Libro deActas Capitulares1578-1584.Lib. XVIII. f. 491 v. 1583.05.04.

46 AHUS: Pº 69, ff. 267-268. Notario: Macías Vázquez. 14.12.1535

47 Contrato con el pedrero Maestre Martín sobre la portada del Obradoiro. ACS: Colección de documentos sueltos Nº 5, Notario: Alonso Rodríguez, 12. 09.1520

48 Contrato de aprendizaje AHUS: Pº 32, ff. 81-82. Notario: Macías Vázquez 1524.02.10

BIBLIOGRAFÍA

Alberti, J. Baptista: *De re aedificatoria*. Ed. Facsímil. Oviedo, 1975.

Aneiros Rodríguez, Rosa María: *Aportación documental sobre la actividad artística compostelana entre 1550 y 1570*. Tesis de Licenciatura, 1990. (Parte de los documentos citados han sido transcritos por esta autora).

Bonet Correa, Antonio: *La Arquitectura en Galicia durante el Siglo XVII*. Instituto Padre Sarmiento. C.S.I.C. Madrid, 1984.

García Guerra, Delfín: *El Hospital Real de Santiago (1499-1804)* Fundación Barrié de la Maza. A Coruña, 1983.

Goy Diz, Ana: Tesis doctoral: La Arquitectura en Galicia en el paso del Renacimiento al Barroco, 1994. (Parte de los documentos citados han sido transcritos por esta autora).

López Ferreiro, A.: *Historia de la Santa a. M. Iglesia de Santiago de Compostela*. Seminario Conciliar. Santiago, 1905.

Perez Constanti, P.: *Diccionario de Artistas que florecieron en Galicia durante los siglos XVI y XVII*. Librería Seminario, Santiago 1930.

Rodríguez Pantín, Alberto: *Aportación documental sobre la actividad artísitica compostelana de la primera mitad del siglo XVI. Los fondos del Archivo histórico de la Universidad de Santiago. 1988*. (Parte de los documentos citados han sido transcritos por este autor).

Rosende Valdés, A.: *El Renacimiento. Historia del Arte Gallego*. Madrid, 1982.

Valle Pérez, X. Carlos.: *A Arte Tardogótica Galega e Portugal. Algunhas consideracións. Do Tardogótico o Manierismo Galicia e Portugal*. Fundación Barrie y Fundaçao Calouste Gulbenkian. A Coruña, 1995.

Vila Jato, M.ª Dolores: *El Primer Renacimiento Galaico Potugués: influjos mutuos. Actas del VIII Congreso Nacional de Historia del Arte*. C.E.H.A. Cáceres, octubre de 1990. Vol I. Págs. 351-356. Mérida, 1992.

Villa Amil y Castro, J.: *La Catedral del Santiago*.Madrid, 1909.

Schökel, L.A.: Biblia del Peregrino. Ed. Mensajero. Bilbao, 1995.

Sojo y Lomba, F.: *Los maestros canteros de Trasmiera*.Madrid, 1935.

Historia Compostelana, Tomo XX. Facsímil, Madrid, 1965. Edic. Flórez. España Sagrada

FUENTES DOCUMENTALES

Archivo Histórico de la Catedral de Santiago (AHCS)
Archivo Municipal de Santiago (AMS)
Archivo Histórico del Reino de Galicia (AHRG)
Archivo Municipal de A Coruña (AMC)

Bóvedas nervadas en el Castillo de Villena (Alicante)

Luis Ferre de Merlo

Referencias históricas

La cubrición de espacios de planta cuadrilátera adopta un sistema constructivo original que trajeron a la Península Ibérica los invasores musulmanes y que habían ya ensayado en las primeras construcciones islámicas, herederas, de la construcción persa. El islam, recogiendo esas enseñanzas, aplicó las técnicas en sus construcciones de cúpulas sobre nervaduras que empleó en España desde el siglo X.

El castillo de La Atalaya está ubicado junto al casco urbano de la ciudad de Villena. Perteneciendo al reino moro de Murcia, se conoce su existencia desde 1238 cuando los ataques de las tropas aragonesas, época en que la Torre del Homenaje tenía dos plantas de altura. En el siglo XIV quedó incluido dentro del Marquesado de Villena, estado feudal creado en Castilla e incorporado en el siglo XV a la Corona por los Reyes Católicos cuando se amplió con dos alturas más en 1467. En 1811 durante la Guerra de la Independencia, los franceses volaron las bóvedas nervadas que se reconstruyeron en 1958, aunque ya en 1931 el Castillo de la Atalaya había entrado en el catálogo de los Monumentos Histórico-Artísticos de España.

Las bóvedas nervadas hispanomusulmanas más perfectas, se encuentran en Córdoba y Toledo. En la ampliación que hizo al-Hakam II en la Mezquita de Córdoba (962-965), encontramos bóvedas en que los nervios arrancan por pares desde los apoyos para entrelazarse en el espacio y crear un esqueleto en el que apoya la plementería.

En Toledo las de Bab Mardum (999 d.C.) también llamada *Cristo de la Luz,* tiene características similares; sin embargo la de las Tornerías, que es algo posterior, tiene dos pares de nervios perpendiculares que subdividen la bóveda en nueve diminutas bovedillas, casi todas con dos nervios o arcos resaltados que se cruzan en el centro partiendo algunas veces de los ángulos y otras de los puntos medios de los lados de su base, pero nunca arrancan por pares.

Hemos de hacer notar que en la época almohade los nervios arrancan aisladamente y no lo hacen por pares como en la época anterior, sistema que aparece en los castillos de Alicante que estudiamos a continuación.

Castillos de Alicante con bóvedas nervadas

Encontramos bóvedas nervadas en los castillos de Villena y de Biar. Esta última localidad dista tan sólo 7 km de Villena dentro de la provincia de Alicante y posee un castillo algo menor en tamaño pero no menos importante en los avatares fronterizos de la época y, bajo el punto de vista que nos interesa, con bóvedas nervadas en la cubrición de la Torre Maestra.

En la segunda planta se sitúa la bóveda de escayola formada por ocho arcos apuntados formando nervios entrelazados cuyos arranques imitan falsas ménsulas y se cruzan alternativamente enmarcando con sus claves una roseta en el centro de la bóveda. Esta solución recuerda la de la cúpula de la Capilla de Ta-

lavera de la Catedral Vieja de Salamanca realizada hacia 1200, y tiene una disposición de los nervios muy similar a la bóveda de la Sala 1ª del Castillo de Villena. Estos nervios arrancan aislados en vez de por parejas como en Córdoba, lo que denota inspiración en obras semejantes tipo almohade.

En la segunda planta, hay una bóveda esquifada toda ella de ladrillo de ocho nervios que convergen en la clave y arrancan individualmente de las esquinas achaflanadas por trompas. Estas trompas convierten la planta cuadrada en octogonal y propician la construcción de ocho nervaduras.

La utilización de nervaduras para cubrir espacios fue adoptada por los constructores románicos y posteriormente por los pregóticos y los góticos que independizaron los nervios de la plementería, apoyando ésta sobre aquellos y formando una estructura suelta y flexible que revolucionó la construcción conocida hasta entonces.

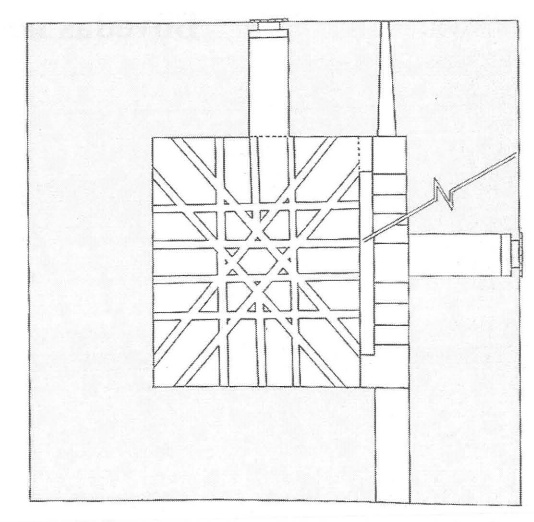


Figura 1
Planta bóveda piso 2º

Las bóvedas del castillo de Villena

Las bóvedas objeto de nuestro trabajo resuelven la cubrición de las dos estancias rectangulares que ocupan los primeros dos niveles de la mencionada Torre del Homenaje, que fueron construidas por los almohades como indica el hecho mencionado en Biar de que los nervios arrancan aislados sobre unos canes de piedra.

El sistema de nervios entrecruzados y el relleno de los espacios obtenidos con plementería en bóvedas ajustadas a las curvaturas resultantes es de clara procedencia musulmana que utilizaron el ladrillo para la construcción de estos elementos. De las cuatro alturas que tiene la torre, las dos primeras, que constuyeron los almohades, tienen muros de tapia y están cubiertos por las bóvedas nervadas mientras que las dos siguientes, que construyeron los cristianos, tienen muros de sillarejo y como cubierta una estructura de entramado de vigas de madera el nivel siguiente, mientras el último se cubre con bóvedas de cañón.

La sala primera, de unos 7×7 m en planta y 6,7 m de altura, está cubierta por bóveda de 8 arcos de herradura de fábrica de ladrillo macizo a sardinel tomado con mortero de cal y colocados perpendicularmente a las cimbras, apreciándose distinto espesor en las juntas radiales de dichos ladrillos debido a la diferencia de longitud entre el intradós y el trasdós del arco. El aparejo de los nervios alterna las hiladas de dos sogas con las de dos tizones, dando una sección cuadrada de 25 cm de lado.

La separación entre los nervios entre ejes es de 1,3 m y aparecen dos pares dispuestos paralelos a los muros y los otros dos pares formando 45º con los an-

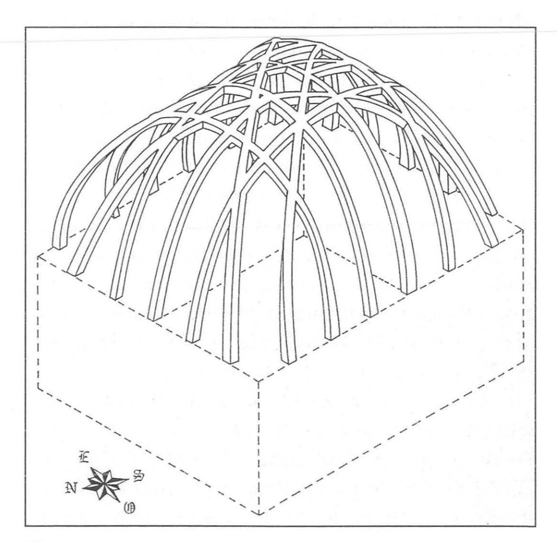


Figura 2
Nervios bóveda piso 2º

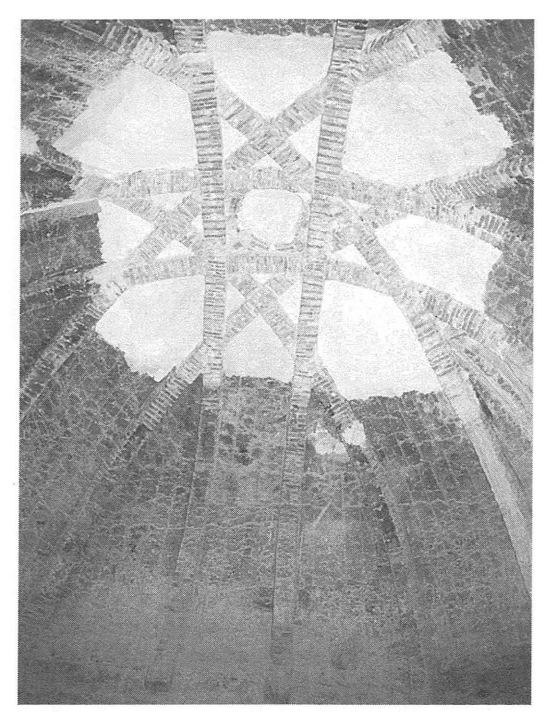


Figura 3
Vista bóveda piso 1º

La sala segunda, de unos 6×7,5 m en planta y 5,5 m de altura, está cubierta por bóveda de 11 nervios de las mismas características que los de la sala primera.

La disposición de los nervios realiza paralelamente a los lados del recinto de manera que aparecen tres longitudinalmente y cuatro transversalmente que son intersecados por dos pares más paralelos a las diagonales de la sala. La luz máxima de los arcos se produce en los diagonales alcanzando éstos 8,5 m. La plementería es de ladrillo hueco doble a panderete igual que en la sala primera.

Para conocer la forma de los arcos, aisladamente considerados, hemos dibujado dos por cada bóveda paralelos a los lados del recinto resultando lo siguiente: los arcos del primer piso son peraltados y los del segundo son rebajados con curvatura continua pero no uniforme y por tanto no son simétricas las dos mitades de cada arco.

No obstante, y a modo de curiosidad, vamos a calcular el canto que deberían tener los nervios, si estu-

teriores. El hecho físico de entrecruzar los arcos obedece a la necesidad estructural de evitar el pandeo ya que de esta manera los tramos libres son mas cortos y se reduce la esbeltez. En las esquinas aparecen trompas que sirven para ochavar la planta y distribuir las nervaduras.

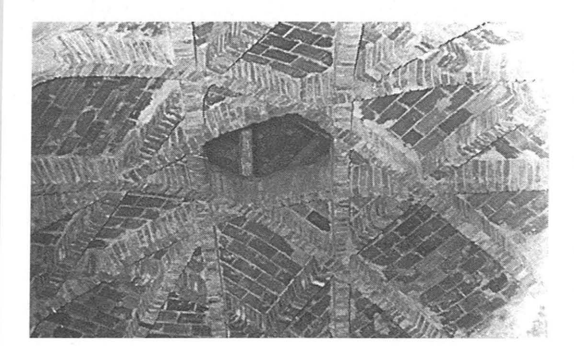


Figura 4
detalle bóveda piso 1º



Figura 5
Vista bóveda piso 2º

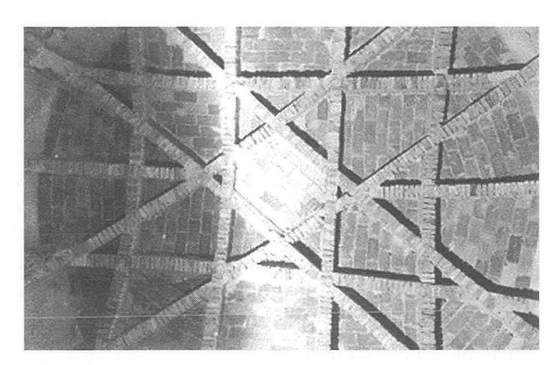


Figura 6
Detalle bóveda piso 2º

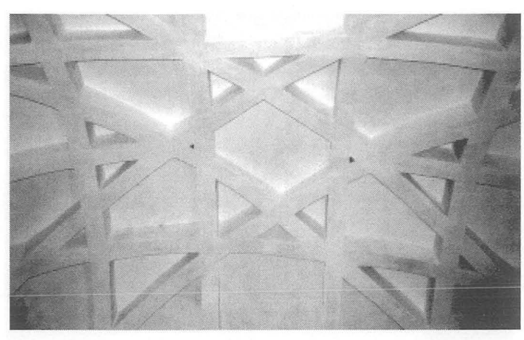


Figura 8
Bóveda piso 2º restaurada

vieran aislados, en función de la luz máxima que como hemos indicado es de 8,5 m. Aplicando la fórmula para los arcos de fábrica no apuntados: canto = luz/17,56, obtenemos canto mínimo = 850/17,56 = 48,40 cm que es mayor de los 25 cm que tienen los de Villena.

Intervenciones y estado actual

En 1811, en plena Guerra de la Independencia, el mariscal Suchet, de las tropas napoleónicas, hizo volar parcialmente las bóvedas almohades de la Torre del Homenaje rompiendo la parte central de las mismas y desapareciendo una tercera parte aproximadamente de su superficie, y quedando los nervios en su arranque lo que favoreció su reconstrucción en 1958.

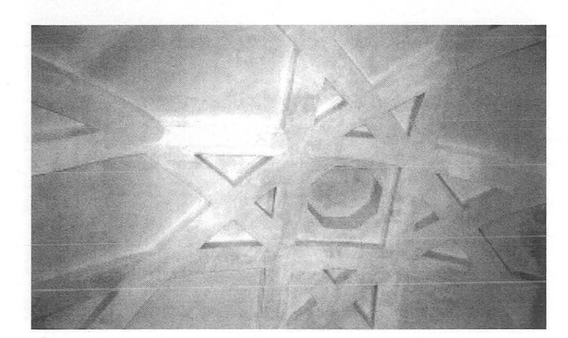


Figura 7
Bóveda piso 1º restaurada

La última intervención ha concluido con la reapertura al público los días 27 y 28 de Mayo de 2000 con jornadas de puertas abiertas. Hemos podido constatar por la investigación efectuada que en la Torre del Homenaje es donde se encuentra la parte más interesante bajo el punto de vista de la arquitectura, esto es, el diseño y la construcción de las dos salas cubiertas por bóvedas nervadas.

Por las fotos y dibujos que acompañamos, podemos observar que los nervios son de sección rectangular porque están formados por ladrillos de dimensiones aproximadas 25×12×6 colocados a sardinel con juntas de mortero importantes y que arrancan independientes apoyados en canes de piedra que están empotrados en los muros. La plementería es de ladrillo a panderete que se apoya entre los nervios para rellenar los huecos y cerrar la bóveda.

Sin embargo, nada de esto se puede observar después de la última intervención que ha realizado la Conselleria de Cultura de la Generalitat Valenciana. Los nervios y la plementería han sido enlucidos, así como el resto de la bóveda, quedando impedida la visión de la construcción almohade y por tanto la percepción del aspecto más decisivo de su arquitectura. Sin la visión del ladrillo y su aparejo no se puede entender la construcción de las bóvedas ni la forma de resolver la intersección de las nervaduras. Sólo han quedado vistos los canes de arranque de los nervios.

La visión actual de las nervaduras es la de una decoración de escayola que queda en relieve sobre la superficie de una bóveda que también es de escayola. El resultado es un falseamiento de la realidad constructiva histórica mediante la ocultación de sus ele-

mentos. Que las imágenes que mostramos en este trabajo sirvan para reivindicar y mostrar el valor de la construcción de bóvedas nervadas hispanomusulmanas en la arquitectura militar mediterránea.

Bibliografía

Bevan, B.: *Historia de la Arquitectura Española*. Ed. Juventud, S.A. Barcelona, 1970.

Gaya Nuño, J.A.:*Conocer Toledo*. Ed. Everest, S.A. León, 1985.

Hernández Alcaraz, Laura. Archivo y Museo Arqueológico de Villena.

Hinojosa Montalvo, J.: «Biar:un castillo en la frontera del Reino de Valencia», *Revista de las Fiestas de Mayo*»,Concejalía de Fiestas del Excmo. Ayuntamiento, Biar 1993, pp.147-150.

Hinojosa Montalvo, J: «Biar y su castillo durante la primera mitad del siglo XIV», *Revista de las Fiestas de Mayo*»,Concejalía de Fiestas del Excmo. Ayuntamiento, Biar 1994, pp.39-42.

Lambert, E.:*El Arte Gótico en España siglos XII y XIII*. Ed. Cátedra, S.A. Madrid,1977

Martínez Aguilar, J.L. y Trigueros Monreal, J.R.: *Castillo de la Atalaya, Villena.*

Análisis constructivo. Trabajo Fin de Carrera. EPSA de Alicante. Septiembre 1995.

Martínez Carpio, R.: *Estudio histórico-constructivo de los Castillos del Vinalopó.*

Trabajo Fin de Carrera. EPSA de Alicante, Junio 1999.

Soler García, J.Mª.: «El Real Castillo de Villena», *Revista Villena 1991,* M.I. Ayuntamiento, Villena 1991, pp.19-20.

Torres Balbás, L.:*Crónica de la España Musulmana,1*.Instituto de España.Madrid,1981.

Il contributo dell'École d'Artillerie et du Génie di Metz alla teoria della volte in muratura

Federico Foce

Il presente lavoro intende offrire un primo quadro generale del rilevante contributo teorico e applicativo apportato al tema della stabilità delle volte in muratura nell'ambito della École d'Artillerie et du Génie di Metz fra il 1825 e il 1870. Questo preciso intervallo temporale è definito, da un lato, dalla data della I edizione litografata del *Cours sur la stabilité des constructions* di Nicolas Persy e, dall'altro, dalla sconfitta delle armate francesi a Sedan. Dopo tale tragico evento, nel quale indubbie furono le responsabilità delle forze militari che proprio a Metz venivano formate, l'École è divenuta oggetto di una sorta di rimozione storica —perdurante in Francia sino a tempi recenti— che ha impedito di far emergere in pieno la qualità della ricerca e dell'insegnamento tecnico-scientifico svolti a Metz.

Introduzione

Il tema delle strutture voltate in muratura è divenuto negli ultimi decenni oggetto di studio da più fronti disciplinari: a partire dagli anni '60, scienziati delle costruzioni, restauratori e storici della meccanica si sono trovati a condividere, volenti o nolenti, un campo d'indagine rimasto per lungo tempo ai margini degli specifici interessi delle differenti discipline, vuoi per l'attenzione esclusiva sino ad allora riservata ai materiali «moderni» e ai metodi di analisi strutturale ad essi appropriati, vuoi per l'ancor sopito problema della conservazione del patrimonio edilizio storico, vuoi per la totale inesistenza di un settore di ricerca dedicato alla storia della meccanica strutturale.

Da quando Jacques Heyman (1966) —non a caso prima vera figura di strutturista, restauratore e storico— ha «ufficialmente» aperto la discussione sullo *stone skeleton*, moltissimo è stato scritto nella linea da lui tracciata, tanto che sembrerebbe difficile reperire qualcosa di nuovo e significativo sul tema in questione. Come spesso accade quando un argomento diventa di interesse generale, i primi traguardi raggiunti da pochi pionieri diventano il riferimento dei molti successori: la ripetizione prende allora il posto dell'approfondimento, la semplice citazione sostituisce la lettura critica, l'errore ripetuto assume valore di verità. Chi, ad esempio, sarebbe disposto a riconoscere che la teoria delle volte di Coulomb conduce a risultati inesatti, almeno nella forma da lui effettivamente sviluppata? Chi riterrebbe che Navier, fondatore della teoria dell'elasticità dei solidi e favorevole al suo impiego anche per l'analisi delle strutture murarie, è invece uno dei pochi autori ad aver fornito la corretta teoria dell'arco come sistema di conci rigidi, correggendo esattamente ciò che Coulomb aveva lasciato incompleto ? Chi, infine, dopo più di 40 anni dal ricordato contributo di Heyman, crederebbe che gli studi più rigorosi ed esaustivi sul problema dell'equilibrio limite dell'arco sono contenuti in una serie di lavori composti nella forma di manuali didattici e rimasti sino ad oggi al di fuori dell'indagine storiografica e scientifica?

L'École di Metz e la produzione ottocentesca sulla «Stabilité des voûtes»

I *Cours* litografati presso l'École d'Artillerie et du Génie di Metz

L'attuale ricerca storica e teorica sulla statica delle strutture voltate in muratura consente di affermare con certezza che, proprio presso l'École d'Artillerie et du Génie di Metz, è stato sviluppato un importantissimo nucleo di studi la cui portata merita di essere posta in giusta luce. Si tratta di un *corpus* di testi straordinariamento omogeneo, per quanto dovuto a più autori, col quale l'analisi dell'equilibrio limite dell'arco murario —inteso come sistema di conci rigidi secondo il modello della tradizione pre-elastica del XVIII secolo— è svolta in modo corretto e generale sulla base del metodo dei massimi e dei minimi applicato per la prima volta da Coulomb (1773) in forma incompleta.

Tale *corpus* è costituito dai corsi delle lezioni predisposti dai docenti dell'École per gli allievi genieri e artiglieri. Si tratta di manoscritti litografati dei quali non risultano edizioni a stampa durante l'intero periodo di esistenza della scuola, conclusosi bruscamente nel 1870 con la tragica sconfitta delle forze armate francesi a Sedan. Tale duplice circostanza è certamente all'origine della scarsa attenzione rivolta sino a tempi recenti all'École di Metz in generale e alla letteraura tecnico-scientifica elaborata al suo interno, in particolare.

In merito al tema specifico della «Stabilité des voûtes», i contributi significativi sono raccolti nei seguenti testi ad uso degli allievi dei corsi di «Stabilità della costruzioni» e di «Costruzioni»:

Persy Nicolas, *Cours sur la stabilité des constructions, à l'usage des Élèves de l'École Royale de l'Artillerie et du Génie*, Lithographie de l'École Royale de l'Artillerie et du Génie, Metz, 1825.

Persy Nicolas, *Cours de stabilité des constructions, à l'usage des Élèves de l'École Royale de l'Artillerie et du Génie*, Lithographie de l'École Royale de l'Artillerie et du Génie, Metz, 1827 II Édition.

Persy Nicolas, *Cours de stabilité des constructions, à l'usage des élèves de l'école de l'Artillerie et du Génie*, Lithographie de l'École d'Application, Metz, septembre 1831, III Édition.

Persy Nicolas, *Cours de stabilité des constructions, à l'usage des élèves de l'École d'Application de l'Artillerie et du Génie*, Lithographie de l'École d'Application, Metz, juillet 1834, IV Édition.

Michon Pierre Felix, *Instruction sur la stabilité des voûtes et des murs de revêtement*, Lithog. de l'École Impériale d'application de l'Artillerie et du Génie, Metz, juillet 1857.

Gardier Louis Jules, *Résumé des Leçons, 1ère partie. Constructions en maçonnerie, Leçons 4,5,6,7,8 Stabilité des murs de revêtement et des voûtes*, Lithographie de l'École d'application de l'artillerie et du génie, s.d.

Chassinat Joseph Albert, *Cours de construction. Notions pratiques sur les éléments, la forme, les dimensions et la construction des maçonneries*, I Partie, Tome I, Lith. de l'École Impériale d'application de l'Artillerie et du Génie, Septembre 1865.

Dei testi elencati, il *Cours* di Persy, elaborato in quattro edizioni ampliate, è il primo in ordine cronologico ed il più importante sul piano teorico. In esso è esposta per la prima volta la teoria generale dell'equilibrio limite delle strutture ad arco (simmetriche e soggette a carichi simmetrici) attraverso l'applicazione corretta del metodo dei massimi e dei minimi già utilizzato da Coulomb in modo incompleto. Di tale circostanza lo stesso Persy si mostra perfettamente consapevole: «Cette methode très-ingénieuse et dirigée vers l'utilité pratique a l'avantage non seulement de bannir l'arbitraire tant de la position du joint de rupture, que du mode d'action des voussoirs, par conséquent de la valeur de la poussée, mais encore de conduire à une théorie aussi simple que lumineuse, qui n'a besoin pour devenir tout-à-fait rigoureuse, que d'une légère modification dans l'énoncé de son principe et qui s'accorde avec les phenomènes reéls, pourvu que l'on considére les différentes positions que peut avoir la force appliquée à la clef. Coulomb n'a pas développé sa méthode; il s'est borné à quelques indications insuffisantes pour en faire aisément saisir l'esprit (...)» (Persy 1825, p. 3).

Come tra breve vedremo, la teoria di Persy ha in effetti il pregio di dedurre tutti i possibili meccanismi di collasso attraverso lo studio analitico delle sei funzioni di spinta (due di scorrimento, due di rotazione per spinta applicata all'estradosso del giunto chiave, due di rotazione per spinta applicata all'intradosso del giunto in chiave) e la conseguente determinazione delle posizioni relative dei giunti di rottura. Il passo avanti rispetto agli autori del XVIII secolo è deci-

sivo tanto sul piano teorico quanto su quello metodologico, perché l'approccio di Persy è un perfetto esempio di ciò che in filosofia della scienza va sotto il nome di metodo ipotetico-deduttivo: «Nous tâcherons d'établir la théorie des voûtes à priori ou indépendamment de l'expérience qui ne saurait embrasser tous le cas, et par là d'affranchir du reproche d'incertitude et d'empirisme, cette partie essentielle de la science des constructions» (Persy 1825, p. 4). Così scrive Persy a conclusione del *Préliminaire*. Per dirla con Truesdell, «experiment is a necessary adjunct to a physical theory; but it is an adjunct, not the master» (Truesdell *et al.* 1960, p. 229).

Altro testo di rilievo è la *Instruction* di Michon. In essa il metodo dei massimi e dei minimi è sviluppato in una forma più direttamente accessibile in quanto le forze in chiave delle quali si cerca il massimo sono intese come *spinte* che una metà di arco esercita sull'altra metà per impedire i movimenti di scorrimento o rotazione verso l'interno di un concio teorico, mentre le forze della quali si cerca il minimo sono intese come *resistenze* che il concio stesso oppone ai movimenti di scorrimento e rotazione verso l'esterno. All'esposizione teorica è inoltre affiancata una serie di *Tables* riportanti, per varie tipologie di volte e per diversi valori del rapporto *K* fra raggio d'estradosso e raggio d'intradosso, le spinte e le resistenze a scorrimento e rotazione e il corrispondente coefficiente di stabilità, inteso come rapporto fra la resistenza minima e la spinta massima per un dato valore di *K*.

Gli altri testi di Chassinat e Gardier, maggiormente legati agli aspetti costruttivi, presentano una sezione sulla stabilità delle volte che ricalca l'esposizione della *Instruction* di Michon senza sostanziali differenze.

Gli articoli pubblicati sul *Mémorial de l'Officier du Génie*

In parallelo alla produzione interna all'École di Metz e strettamente connessa ad essa per approccio, contenuto ed autori, esiste una serie di articoli stampati sulla rivista ufficiale del Genio francese, il *Mémorial de l'Officier du Génie*. Rispetto ai corsi didattici usati a Metz, tali lavori sono maggiormente emersi all'indagine storiografica anche grazie all'*Examen critique et historique des principales théories ou solutions concernant l'équilibre des voûtes* pubblicato da Poncelet nel 1852. In questo importante resoconto è citato anche il *Cours* di Persy, sul quale però Poncelet si limita ad affermare che le formule in esso contenute «sont, si je ne me trompe, ici présentées pour la première fois aux ingénieurs» (Poncelet 1852, p. 531).

Audoy, Mémoire sur la poussée des voûtes en berceau, *Mémorial de l'Officier du Génie*, 1820, pp. 1-96.

De Garidel, Mémoire sur le calcul des voûtes en berceau, *Mémorial de l'Officier du Génie*, 12, 1835, pp. 7-72.

Petit, Mémoire sur le calcul des voûtes circulaires, *Mémorial de l'Officier du Génie*, 12, 1835, pp.73-150.

Poncelet, Jean-Victor, Solution graphique des principales questions sur la stabilité des voûtes, *Mémorial de l'Officier du Génie*, 12, 1835, pp. 151-213.

Michon, Tables et formules pratiques pour l'établissement de voûtes cylindriques, *Mémorial de l'Officier du Génie*, 15, 1848, pp. 7-117.

L'articolo di Audoy è probabilmente il primo in ordine cronologico nel quale sono esplicitate, per alcune tipologie di volte, le formule analitiche tratte dal metodo dei massimi e minimi di Coulomb per il calcolo delle spinte relativamente ai soli meccanismi di rotazione pura e scorrimento puro.

Gli articoli di Petit e de Garidel, in linea col precedente lavoro di Audoy, riportano alcuni sviluppi numerici e alcune tavole di dimensionamento per tipologie di volte non trattate dallo stesso Audoy. Complementare all'esposizione analitica seguita dagli autori citati è invece quella geometrica prediletta da Poncelet, la quale si differenzia dalle due precedenti per una maggiore generalità in merito all'analisi dei possibili meccanismi di collasso. A differenza dei lavori di Petit, De Garidel e dello stesso Audoy, quello di Poncelet, che certo ben conosceva il testo di Persy per aver insegnato a Metz dal 1826 al 1835, conserva infatti la stessa impostazione generale, per quanto tradotta in una formulazione grafica.

Sul procedimento geometrico di Poncelet si basa l'articolo di Michon, nel quale i valori delle spinte e delle resistenze a scorrimento e rotazione sono calcolate per via grafica e riportate, assieme ai coefficienti di stabilità e alle posizioni angolari dei giunti di rot-

tura, in 66 *Tables* relative ad altrettanti tipi di volte. Queste tavole sono in parte riprese da Michon nella menzionata *Instruction* del 1857.

RICERCA E INSEGNAMENTO FRA RIGORE TEORICO E FINALITÀ APPLICATIVE

Il quadro precedentemente delineato fa emergere un aspetto caratteristico della ricerca e dell'insegnamento svolti presso l'École di Metz. Come hanno sottolineato Antoine Picon e Bruno Belhoste, esiste a Metz «un lien extrêmement étroit entre l'aspect théorique et l'aspect pratique» che colloca la preparazione degli allievi dell'École d'Artillerie et du Génie in posizione d'avanguardia sul piano tecnico-scientifico: «Officiers, les anciens de l'École de Metz sont aussi des ingénieurs à part entière comme leurs camarades de l'École polytechnique entrés dans les Mines ou les Ponts et Chaussées» (Belhoste *et al.*, 1996, p. 20).

Nell'ambito specifico della teoria delle volte tale posizione appare anzi di assoluta leadership. É quindi opportuno approfondire l'analisi della sopraelencata letteratura alla luce dei seguenti punti, emergenti peraltro dall'organizzazione stessa dei corsi delle lezioni.

Modello meccanico, ipotesi teoriche, considerazioni costruttive

In tutti i lavori prima elencati, il modello meccanico dell'arco murario è quello della tradizione pre-elastica settecentesca: l'arco è cioè considerato come un sistema di conci rigidi sui cui giunti di contatto si esplica attrito e coesione. In particolare:

— i conci sono supposti di spessore piccolissimo, ciò che consente di attribuire ai giunti di rottura una qualunque posizione angolare;
— i giunti sono considerati normali all'intradosso ed è presupposta l'esistenza di un giunto verticale sull'asse di simmetria dell'arco;
— la coesione a taglio e a trazione è messa in conto nelle formule analitiche delle spinte (supposta uniformemente distribuita sulla superficie dei giunti di rottura) ma è considerata trascurabile, soprattutto nel caso di volte disarmate poco dopo la costruzione: per la coesione a trazione Persy (1825, p. 20) riporta i valori seguenti, ripresi da Boistard: 6960 Kg/m^2 «pour les mortiers de chaux et sable»; 3700 Kg/m^2 «pour les mortiers de chaux et ciment»;
— la resistenza dovuta all'attrito è sempre messa in conto nelle formule relative ai meccanismi di scorrimento: per il coefficiente di attrito Persy (1825, p. 20) riporta il valore 0,76 ripreso da Boistard; Poncelet (1835, p. 191) riporta i valori 0,58, ripreso da Rondelet ma considerato come minimo, e 0,66 ripreso dalle esperienze di Rennie e considerato più realistico.

Formulazione della teoria generale

Come si è detto in precedenza, spetta a Persy il merito di aver sviluppato in tutte le sue conseguenze il metodo dei massimi e minimi, facendo emergere i limiti della trattazione di Coulomb in relazione ai meccanismi di collasso per rotazione, quelli peraltro più probabili.

In breve, Persy analizza l'equilibrio di una semivolta sotto l'azione del peso proprio e della spinta orizzontale applicata in un generico punto della chiave. Considerato un giunto qualunque definito dall'angolo formato con la verticale per la chiave, per il concio teorico così individuato egli scrive le due equazioni di equilibrio allo scorrimento verso il basso e verso l'alto e le due equazioni di equilibrio alla rotazione intorno allo spigolo d'intradosso e d'estradosso. Rispetto ai movimenti verso l'interno, l'equilibrio del concio richiede che si cerchi il massimo della spinta di scorrimento verso il basso e della spinta di rotazione intorno all'intradosso, ciò che individua i due valori estremi G e F delle spinte ed i giunti I e J ad esse associati; rispetto ai movimenti del concio verso l'esterno, l'equilibrio richiede che si cerchi il minimo della spinta di scorrimento verso l'alto e della spinta di rotazione intorno all'estradosso, ciò che individua i due valori estremi g e f delle spinte ed i giunti i e j ad esse associati. Ora, osserva nitidamente Persy, le spinte G e g di scorrimento non dipendono dal punto di applicazione in chiave, per cui affinché non avvengano meccanismi di scorrimento occorre che sia:

$$G < g .$$

Tale disuguaglianza è data anche da Coulomb (1773).

Al contrario, nel caso dei movimenti di rotazione le spinte dipendono anche dal punto di applicazione, le cui posizioni limite sono all'estradosso e all'intradosso del giunto in chiave. Conservando allora le notazioni F e f, J e j per il massimo e il minimo delle spinte applicate all'estradosso della chiave e per i rispettivi giunti di rottura e indicando, corrispondentemente, con F' e f', J' e j' il massimo e il minimo della spinte applicate all'intradosso e i rispettivi giunti di rottura, Persy individua le due seguenti disuguaglianze il rispetto delle quali garantisce che non si attivino meccanismi di rotazione:

$F < f$ per spinta applicata all'estradosso della chiave

$F' < f'$ per spinta applicata all'intradosso della chiave

Quando $F = f$ e il giunto J si trova più in alto del giunto j, l'arco collassa con rotazione verso l'interno delle due parti superiori e verso l'esterno delle due parti inferiori; viceversa, quando $F' = f'$ e il giunto J' si trova più in basso del giunto j', l'arco collasso con rotazione verso l'esterno delle due parti superiori e verso l'interno delle due parti inferiori.

Erroneamente, Coulomb aveva considerato soltanto le spinte F e f', individuando l'impossibilità di meccanismi di rotazione nella disuguaglianza

$$F < f' \, .$$

Tale disuguaglianza è invece falsa perché la conseguente condizione di collasso $F = f$ si riferisce a spinte applicate in due distinti punti della chiave, mentre il punto di applicazione della spinta in chiave all'atto dell'uno o dell'altro meccanismo è ovviamente unico. In sostanza, mancando di considerare i due altri estremi F' e f della spinta, il criterio espresso dalla disuguaglianza di Coulomb porta a ritenere stabile un arco che è già crollato. Questi risultati sono stati ottenuti in recenti studi sull'equilibrio delle strutture ad arco basati sull'utilizzo del principio dei lavori virtuali (Sinopoli *et al.*, 1997; Foce 1999). Essi, però, sono tutti impliciti nella teoria di Persy, della quale quegli studi hanno fatto debita menzione.

L'analisi di Persy porta inoltre a considerare tutti i possibili meccanismi di collasso, tenendo conto che movimenti di rotazione possono combinarsi con movimenti di scorrimento dando luogo a meccanismi misti. Un quadro esauriente dei meccanismi di collasso, complessivamente in numero di otto, è svolto anche da Michon (1857), il quale descrive inoltre per quali tipologie di volte un meccanismo è più probabile di altri.

Per avere un'idea dell'ampiezza delle problematiche teoriche e applicative affrontate da Persy, riportiamo qui di seguito la serie di questioni da lui poste e risolte sulla base della sua teoria generale:

— «1re Question: Une voûte étant donnée, déterminer les joints relatifs aux limites et les valeurs de ces limites»;
— «2e Question: Vérifier si un voûte proposée se soutiendra ou non d'elle-même»;
— «3me Question: Une voûte supposée stable sur son plan de naissance, déterminer les dimensions que son pied-droit doit avoir pour résister à la poussée»;
— «4e Question: Une voûte étant stable, à cela près qu'elle peut glisser sur ses joints de naissances, supposés horizontaux, déterminer la résistance qu'il convient d'ajouter à sa partie inférieure pour empêcher cet effet»;
— «5e Question: L'intrados d'une voûte, sans pied-droit étant donné, déterminer les limites des épaisseurs sur lesquelles elle pourra se soutenir»;
— «6e Question: Vérifier si une voûte proposée est capable ou non de supporter une charge donnée»;
— «7e Question: Une voûte étant donnée, assigner les pressions que supportent les voussoirs en ses principaux points»;
— «8e Question: Une voûte étant donnée, déterminer la pression supportée par son cintre en charpente, aux diverses époques de la construction».

A fianco dell'analisi limite in senso stretto, utile a determinare in funzione della geometria e dell'attrito gli spessori minimi della volta e dei piedritti corrispondenti al collasso incipiente, gli autori citati si preoccupano di quantificare il *coefficient de stabilité* da assegnare alle strutture reali, coefficiente che rappresenta un «fattore geometrico di sicurezza» nel senso esattamente inteso da Heyman (1969) in relazione alla stabilità delle strutture ad arco. Dal confronto con strutture esistenti la cui solidità è stata provata

dal tempo, Persy fornisce ad esempio un coefficiente di stabilità variabile da 1,9 a 2; altri autori indicano anche valori più, soprattutto per volte destinate a sopportare carichi modesti.

Le tipologie costruttive: formule analitiche, spessori in chiave, coefficienti di stabilità

Nel complesso, in quasi tutti i testi citati sono riportate le formule analitiche per il calcolo delle spinte delle seguenti tipologie di strutture voltate:

- volte a pieno centro con estradosso parallelo, *en chape* e orizzontale;
- volte *en anse de panier* con estradosso parallelo, *en chape* e orizzontale;
- volte ad arco di cerchio con estradosso parallelo, *en chape* e orizzontale;
- piattabande;
- volte sferiche (cupole) estradossate parallelamente;
- volte a crociera e *en arc de cloître*.

In base al tipo d'impiego ed alla resistenza richiesta, alcuni autori danno anche la seguente classificazione:

- *voûtes à l'eprouve*, sono quelle che devono resistere agli urti delle bombe;
- *voûtes très fortes*, sono quelle utilizzate per i ponti stradali e ferroviari per le quali si prevedono forti carichi con vibrazioni, ma senza urti notevoli;
- *voûtes fortes*, sono quelle per gallerie, tunnel e magazzini, destinate a sopportare carichi considerevoli ma non soggette ad urti e vibrazioni;
- *voûtes moyennes*, sono quelle impiegate nei fondi delle costruzioni per le quali si prevedono carichi analoghi a quelli che si depositano sul pavimento degli edifici;
- *voûtes légères*, sono quelle delle chiese e delle coperture dei grandi edifici, le quali, oltre al peso proprio, devono portare carichi molto modesti.

Per ogni categoria è importante tener conto del ribassamento, al cui crescere cresce anche la spinta e la sollecitazione dei materiali. È allora opportunamente introdotto il raggio medio r, cioè il raggio del cerchio passante per le imposte e la chiave. In funzione di tale raggio medio, alcuni autori (Michon 1857; Chassinat 1865) riportano per le cinque categorie sopra indicate i valori da utilizzare per lo spessore e in chiave, espresso in metri, e per il coefficiente di stabilità inteso come rapporto fra la resistenza minima e la spinta massima:

	Spessore in chiave (in m)	Coefficiente di stabilità
Voûtes à l'eprouve	$e = 0{,}50 + 0{,}12\ r$	$1{,}50 \div 2$
Voûtes très fortes	$e = 0{,}40 + 0{,}8\ r$	$1{,}35 \div 1{,}45$
Voûtes fortes	$e = 0{,}30 + 0{,}6\ r$	$1{,}25 \div 1{,}35$
Voûtes moyennes	$e = 0{,}20 + 0{,}4\ r$	$1{,}20 \div 1{,}25$
Voûtes légères	$e = 0{,}10 + 0{,}2\ r$	$1{,}12 \div 1{,}20$

Le *Tables* di calcolo e verifica

Al di là dell'apprezzamento per l'apporto teorico riconosciuto alla produzione scientifica esaminata, occorre ricordare che le finalità principali della formazione tecnica dell'École di Metz erano rivolte alle applicazioni pratiche. Anche da questo punto di vista, peraltro, la mole di lavoro sviluppata nella letteratura sopracitata è impressionante. Nel complesso, sono reperibili Tavole precalcolate riportanti, per le tipologie prima elencate ed in funzione del rapporto K, variabile da 2 a 1, fra raggio di estradosso e di intradosso in chiave, i valori delle superfici geometriche, le distanze del loro centro di gravità, i valori delle resistenze e delle spinte a rotazione e scorrimento coi corrispondenti angoli di rottura, nonché il loro rapporto misurante il coefficiente di stabilità. Fra queste Tavole, quelle più complete sono dovute a Michon (1848).

Conclusioni

Per quanto sommario, il quadro messo precedentemente a fuoco appare di grandissimo interesse non solo per la qualità e la quantità dei contenuti ma anche per l'attualità che tali contenuti possono assumere nel momento presente, nel quale gran parte degli interessi di ricerca nel campo della meccanica delle strutture e del restauro statico si appunta sul patrimonio del costruito in muratura. In tale prospettiva, il materiale sopra esaminato potrebbe rivelarsi estremamente prezioso: da un lato, perché offre all'ingegnere strutturista un supporto teorico e applicativo perfettamente coerente con la linea oggi privilegiata per

l'analisi delle strutture murarie ad arco —e cioè l'approccio in termini di teoria della plasticità introdotto da Heyman— fra l'altro senza patirne gli inconvenienti connessi all'impossibilità di trattare i casi di collasso implicanti scorrimento; dall'altro, perché consente al restauratore di avvicinarsi all'opera muraria con un'ottica più vicina a quella di coloro che ancora la progettavano e costruivano.

Se è vero, come si diceva in apertura, che l'odierna riflessione sui temi della costruzione impone l'obbligo di un confronto a figure con differenti estrazioni scientifiche, è auspicabile che quel confronto avvenga sulla base di un terreno comune e senza la tacita intenzione di nascondersi entro specialismi disciplinari. Ci sembra che una felice mediazione in tal senso possa provenire da una consapevole e meditata ricerca sulla stessa storia del costruire in relazione agli aspetti teorici, tecnici e costruttivi. Una tale propensione verso l'approccio storico ha già dato significativi risultati grazie anche all'opera di Edoardo Benvenuto, del quale la neofondata *Associazione per la ricerca sulla Scienza e l'Arte del Costruire nel loro sviluppo storico* intende proseguire le linee d'indagine scientifica: quanto qui esposto per sommi capi vuole essere un'ulteriore testimonianza in questa direzione.

Bibliografia

Belhoste B., Picon a.: «Les caractères généraux de l'enseignement à l'École d'application de l'artillerie et du génie de Metz», in *L'École d'application de l'artillerie et du génie de Metz (1802-1870). Enseignement et recherches*, Actes de la journée d'étude du 2 novembre 1995, Ministère de la Culture-Direction du Patrimoine, Musée des Plans-Reliefs, 1996.

CoulomB C. A.: «Essai sur une application des règles de *maximis* et *minimis* à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture», *Mém. présentés par divers savans* (1773), 1776, pp. 343-382.

Foce F.: « 'Bit by bit, lacuna by lacuna', in the name of Edoardo Benvenuto», in corso di pubblicazione in *Atti del Seminario Internazionale di Studi Omaggio a Edoardo Benvenuto* (Genova, 29 novembre-1 dicembre 1999).

Heyman J.: «The stone skeleton», *International Journal of Solids and Structures*, vol. 2, 1966, pp. 249-279.

Heyman J.: «The safety of masonry arches», *International Journal of mechanical Sciences*, vol. 11, 363-385, 1969.

Poncelet J.-V.: «Examen critique et historique des principales théories concernant l'équilibre des voûtes», *Comptes rendus*, vol. 35, n° 15, pp. 494-502; n° 16, pp. 531-540; n° 17, pp. 577-587, 1852.

Sinopoli A., Corradi M., Foce F.: «A modern formulation for pre-elastic theories on masonry arches», *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, vol. 123(3), 1997, pp. 204-213.

Truesdell C., Toupin R.: «The classical field theories», *Handbuch der Physik*, vol. III/1, Berlin, Springer, 1960.

Patología de bóvedas de doble curvatura

Manuel Fortea Luna
Vicente López Bernal

Definición

Cuando visitamos una iglesia o cualquier estructura abovedada, y particularmente de bóvedas de aristas, desconocida para nosotros hasta ese momento, la mirada se nos detiene en primer lugar en la contemplación y disfrute del espacio; en segunda instancia, si la visita es profesional, reparamos en la calidad constructiva y seguidamente en su estado de conservación. Ocupada la vista en estos menesteres, y distraída en todas las anécdotas que va descubriendo a lo largo de todos los barridos, olvida con frecuencia un dato fundamental para comprender la esencia de su alma estructural: la altura relativa de la clave central respecto a la de los arcos formeros y perpiaños. Ciertamente es difícil apreciarla sin ayuda alguna ni referencia, primero porque ya sabemos que la vista engaña con más frecuencia de la debida, y segundo porque la visión en vertical es más torpe a la hora de proporcionarnos estimaciones dimensionales. Supongamos una bóveda de arista o cuatripartita, de base cuadrada o rectangular formada por cuatro arcos, situados sobre los lados perimetrales, y dos arcos diagonales. Si damos un corte transversal por el centro, y atendiendo a la altura relativa de la clave central, nos podemos encontrar con tres situaciones diferentes:

1.— La altura de la clave central está a la misma altura que la de los arcos laterales. El corte por la bóveda es una linea horizontal uniendo las tres claves que se encuentran a la misma cota (figura 1). Este es el caso de una bóveda de arista como intersección de

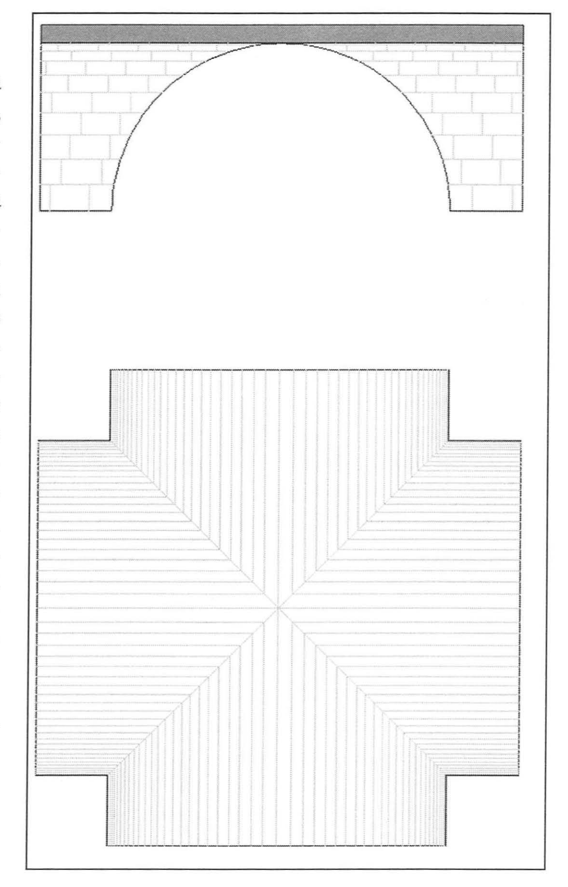


Figura 1

dos cilindros iguales de directriz horizontal, es decir el encuentro de dos bóvedas de cañón. Es la bóveda de arista romana. Teóricamente sobre las claves de los arcos laterales no se ejerce ningún empuje horizontal, pues la línea de fuerza no puede mantener esa dirección constante durante un recorrido por corto que sea.

2.— La altura de la clave central está a una altura inferior que la de los arcos laterales. El corte por la bóveda es una linea quebrada uniendo las tres claves normalmente compuesta por dos curvilíneas simétricas o más, en el caso habitual de existencia de terceletes (figura 2). Éste es el caso de una bóveda de arista gótica, cuatripartita, siendo cada una de dichas partes una superficie reglada generada a partir de un semiarco lateral y un semiarco diagonal. Sobre las claves de los arcos laterales no se ejerce ningún empuje horizontal, pues las fuerzas que aparecen sobre el espinazo se dirigen directamente a la clave central, para discurrir posteriormente por el arco diagonal.

3.— La altura de la clave central está a una cota superior a la de los arcos laterales. El corte por la bóveda es una linea curva uniendo las tres claves (figura 3). Sobre las claves de los arcos laterales se ejerce un empuje horizontal, pues las fuerzas que aparecen sobre el espinazo se comportan de forma similar a como lo harían en una cúpula, cuya sección fuera una porción de casquete esférico. Este es el caso de

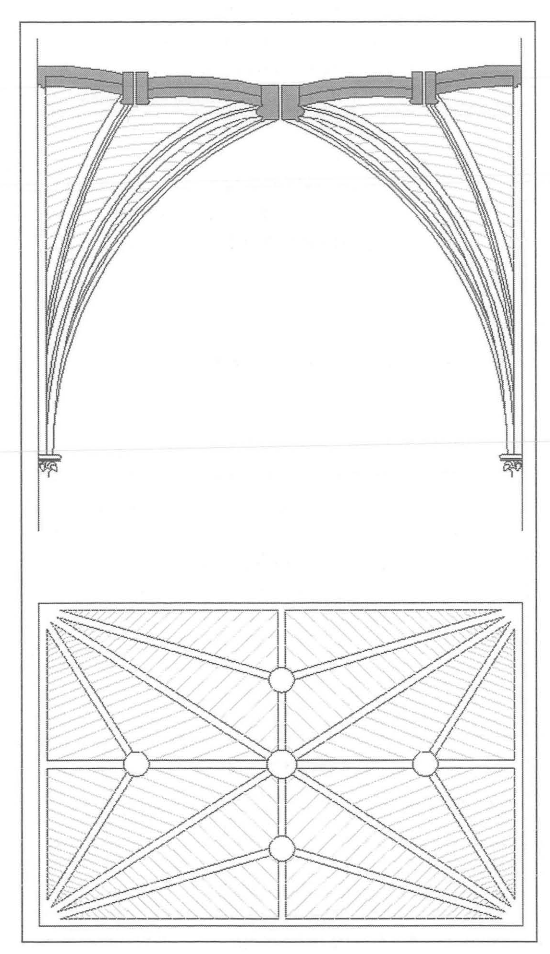



Figura 2

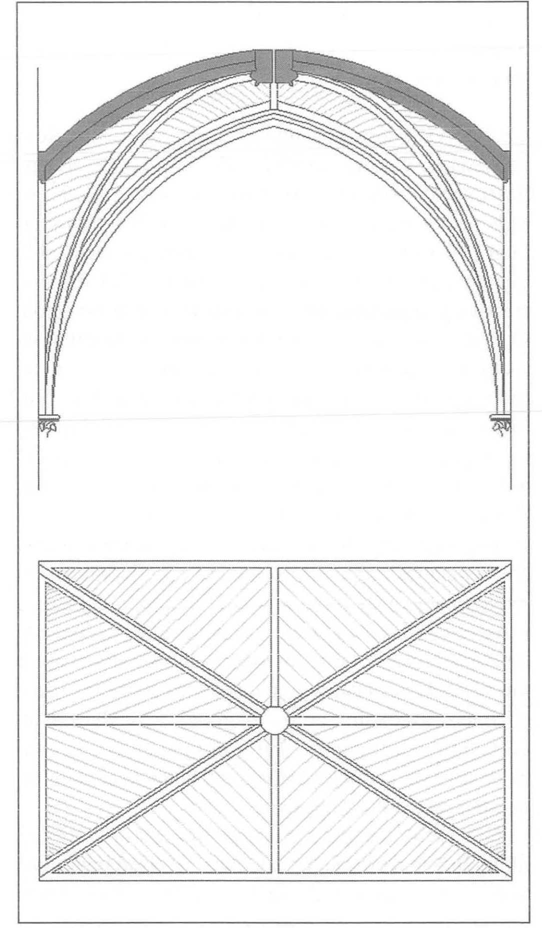


Figura 3

las bóvedas que nos ocupan en este trabajo. Unos las han llamado bóvedas peraltadas, en Extremadura se las conoce como bóvedas con retumbo. A falta de un nombre universal aceptado las hemos llamado en el título bóvedas de arista de doble curvatura.

ANTECEDENTES

La bóveda peraltada aparece en la arquitectura bizantina. Según Choisy contiene la explicación de la bóveda bizantina hasta en sus más aparentes extravagancias.[1]

La figura 4 nos muestra las líneas de cota en planta y la sección vertical por el centro de la bóveda según la versión del mismo autor. Las aristas son salientes y vivas en la zona de los arranques pero muy suaves en la clave, donde parecen borrarse poco a poco para fundirse en la concavidad de una superficie esférica. Esta transición extraña ha sido advertida desde hace mucho tiempo. Estas bóvedas pueden verse en las colaterales inferiores de Santa Sofía de Constantinopla, siendo el ejemplo más curioso que nos queda de esta concepción singular. Curiosamente la arquitectura otomana, representada fundamentalmente por el gran arquitecto Sinán, recupera mil años después la tradición constructiva bizantina de las cúpulas, olvidando estas curiosas bóvedas de aristas peraltadas, que sí las volvemos a reencontrar en Occidente.

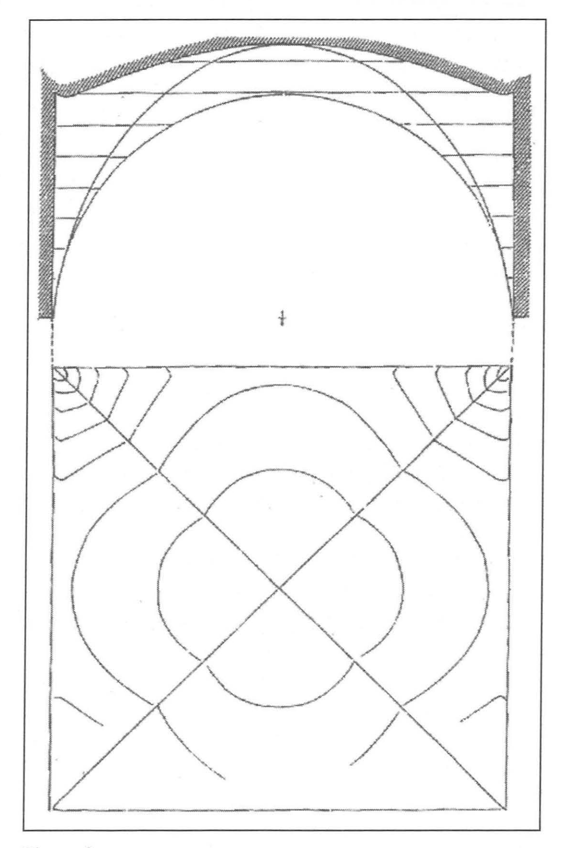


Figura 3

Sin salir de Francia, que es donde se fraguan los principios góticos, es en la zona de Anjou y Poitier donde más influencia bizantina se puede encontrar, dando lugar a un tipo de bóveda bastante extendida por toda la península ibérica cual es la siguiente: Supongamos que vamos a cubrir con una bóveda de nervios un espacio de base cuadrada. Para ello construimos dos arcos semicirculares en la dirección de las diagonales y cuatro arcos apuntados sobre los lados con la condición de mantener el mismo radio de curvatura que los arcos diagonales. El resultado es una bóveda de arista de doble curvatura, o bóveda peraltada.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

El comportamiento de estas bóvedas ya ha sido explicado por varios autores. Choisy lo cuenta de la siguiente manera: «Una de las características esenciales de las bóvedas bizantinas que quizás más claramente las distinga de las bóvedas occidentales coetáneas, es que sus empujes se reparten por todo el perímetro del espacio que cubren. En una bóveda occidental sobre nervios el peso de los cuatro paños independientes que la constituyen reposa sobre los arcos diagonales, y éstos transforman los pesos en empujes concentrados en los cuatro ángulos, de manera que es suficiente reforzar estos cuatro ángulos con macizos de contrarresto. Los muros de cabeza no intervienen para nada en el equilibrio y ocupando su lugar hay habitualmente un simple ventanal de vidrio. En la construcción bizantina ocurre de forma completamente distinta. La bóveda, en vez de dividirse en paños sobre nervaduras, es una cáscara continua y peraltada que, al entrar en carga, ejerce sobre todo su contorno empujes en los sentidos indicados.

Esta bóveda tiende a reventar las paredes que la rodean. No es suficiente pues, contrarrestarla en sus cuatro ángulos; hay que estribarla en todo su perímetro»[2].

La bóveda Extremeña es también una bóveda de arista peraltada, y por tanto de doble curvatura, de la cual ya dijimos que «la observación de los casos reales confirma que una bóveda de arista extremeña puede trabajar indistintamente como una de arista o como una cúpula. La elección o determinación por una de las alternativas de funcionamiento, no sólo depende de sus condiciones iniciales, sino también y sobre todo de las agresiones e intervenciones sufridas posteriormente a su construcción»[3]

Volviendo a la bóveda de la fig 3, podemos considerar para las bóvedas de arista de doble curvatura dos suposiciones en cuanto a su comportamiento:

1.— Que trabaje como una bóveda de arista, esto es, considerando que dividimos cada paño en arcos independientes que descansan sobre las aristas, transmitiendo a éstas los empujes, verticales y horizontales, discurriendo por ellas hasta los arranques, donde finalizan todos los esfuerzos.

2.— Que trabaje como una cúpula, esto es, considerando que dividimos toda la bóveda en gajos radiales, transmitiendo cada uno sus esfuerzos en donde se apoya, unos sobre el muro perimetral y otros sobre los arranques. Lógicamente la dimensión de los empujes depende la dimensión del casquete esférico al que pertenece.

Patología

Las grietas en una estructura son las delatoras de su comportamiento, señalando acusatoriamente sus fragilidades. Cualquier modelo elegido para explicar el funcionamiento estructural, es un modelo teórico, idealizado, con una lista de supuestos iniciales que nos facilita la simplificación del problema, que lo acota a una dimensión abarcable. La realidad es siempre infinitamente más compleja. La validez del modelo la sanciona el comportamiento de la estructura real. Cuanto más próximo esté al previsto por el modelo más podremos confiar en él. Si la realidad difiere notoriamente del comportamiento previsto en el modelo, está claro que el modelo es inservible. Los métodos de cálculo del acero tienen un mayor grado de fiabilidad que los que utilizamos para el hormigón, por la sencilla razón de que podemos vaticinar con mayor éxito el comportamiento de una estructura de acero que el de una estructura de hormigón.

Las bóvedas son estructuras de fábrica, compuestas por adición de elementos (generalmente de piedra o cerámicos) que soportan con comodidad las compresiones, pero no aptas para admitir tracciones. Las mayores magnitudes admisibles de tensiones de este tipo son las que sea capaz de absorber el mortero, que por lo general son tan bajas que no merece la pena su consideración. Por tanto, allí donde aparezcan fuerzas de tracción significativas aparecerá una grieta. Las grietas en las bóvedas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1º.— *Grietas de articulación:* Son las que se producen en un arco elemental, convirtiendo la estructura en un mecanismo. Donde la línea de empujes está en el límite de su frontera. Tienen forma de cuña en sentido transversal siendo su vértice el lugar por donde circulan agolpadas y desesperadas las fuerzas de compresión. Solo se aprecian por una cara, bien por el intradós bien por el extradós, pero nunca por las dos caras. Si ésta llegara a acontecer sobreviene el colapso.

2ª.— *Grietas de independencia*: Son las que se producen en las cúpulas, dividiéndose ésta en gajos independientes, de ancho constante en sentido transversal y de cuña en sentido longitudinal. Al no presentar ningún punto de contacto entre los dos elementos no hay ninguna posibilidad de que las fuerzas puedan circular de una parte a la otra. Se aprecian en las dos caras de la cáscara, tanto en el intradós como en el extradós. Son grietas de separación, de independencia, de subdivisión de la estructura en diversas partes autónomas que le permite a cada una un mayor grado de libertad de movimiento desligado de sus compañeras.

Paul Abraham clasificó las grietas que se producen en una bóveda cuatripartita típica en los siguientes tipos, todas de forma lineal en el sentido longitudinal de la nave central: a) grieta en el cañón principal en la zona de la línea de la clave; b) grieta que denominó *fissures de Sabouret,* paralela al arco formero pero separada de él; y c) grieta de muro, justo en el encuentro entre la bóveda y el muro lateral. P. Abraham se ciñó exclusivamente a las grietas visibles desde el interior de la nave; ésto es, las que se aprecian en el intradós. Heyman,[4] en el estudio de la pa-

tología de estas bóvedas no sólo incluye todas las grietas, visibles desde el interior o no, sino que además hace la distinción entre las que son de articulación y las que no.

En la figura 5 se muestra el comportamiento de una bóveda cuatripartita típica, entendiendo por tal aquella que las claves de los formeros están ligeramente más altas que las claves de los arcos diagonales, las habituales en la región francesa de Ilè-de Francese. Pueden apreciarse las grietas de articulación, una en la zona de la clave, a lo largo de todo el cañón, visible desde el interior, y la otra solo por el extradós situada sobre los riñones. El resto son grietas de independencia, una correspondiente a la grieta de muro y la otra a la definida por Abraham como grieta de Sabouret, evidenciando que la parte comprendida entre estas dos se conforma como un arco separado del resto de la bóveda adquiriendo una independencia total de funcionamiento. Todas estas grietas son lineales en la dirección longitudinal de la nave principal. Obsérvese que ninguna de estas piezas independientes ejerce empuje alguno que no sea sobre los estribos; fuera de ellos, es decir, sobre los muros no se transmite ninguna fuerza.

Por el contrario, las bóvedas peraltadas o si se prefiere, las bóvedas de arista de doble curvatura son diferentes. Ya se ha explicado anteriormente su comportamiento, y esto, necesariamente, ha de traducirse también en una patología diferente. El camino de las fuerzas lo condiciona fundamentalmente la geometría, y en menor medida, pero no despreciable, la disposición de sus elementos, o dicho de otra manera, la forma en que ha sido construida. La elección entre el funcionamiento como una cúpula o una bóveda de

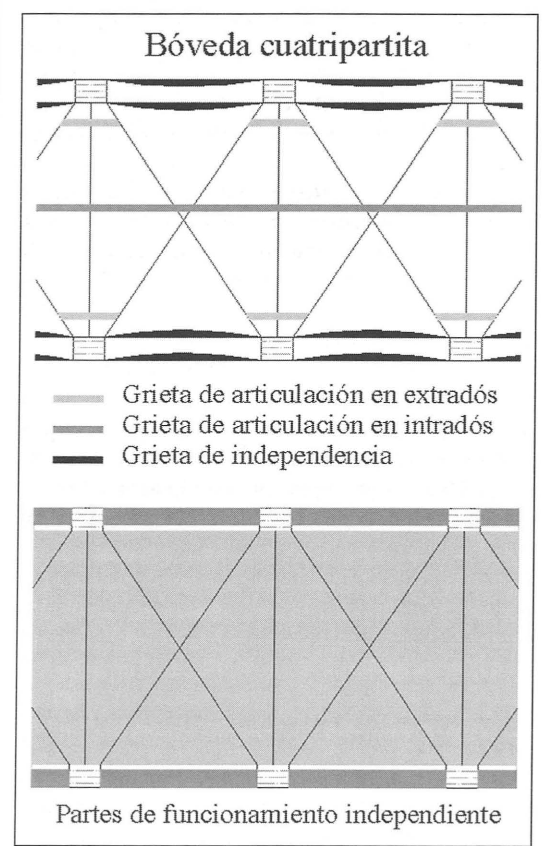


Figura 5

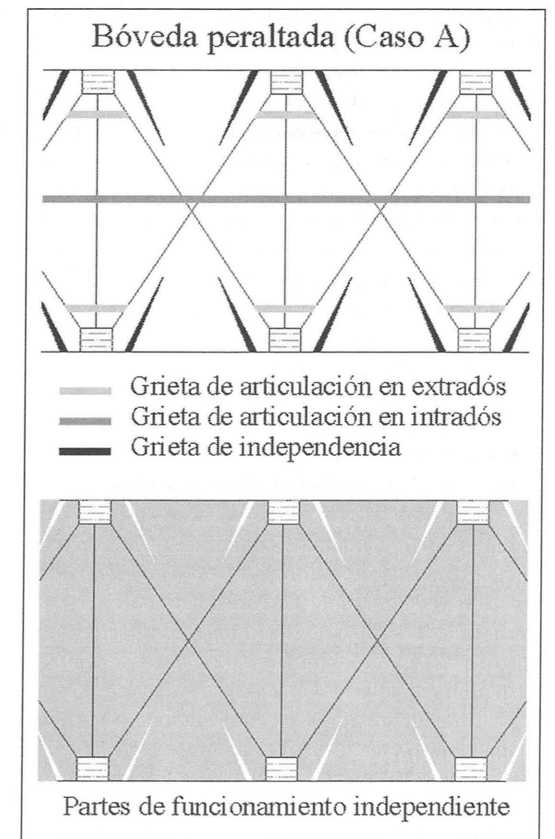


Figura 6

arista depende de estas circunstancias además de las condiciones externas. En cualquier caso idealicemos los dos modelos.

Un comportamiento similar al de una cúpula produciría unas grietas como las que se muestran en la figura 6. Las grietas de articulación serían muy parecidas al caso anterior, pues los arcos diagonales no tienen otra alternativa ni de trabajo ni de movimiento, quedando sólo afectados por la cantidad de carga que han de soportar.

Ahora bien, en este modelo la dimensión de las grietas de articulación serán menores, pues la carga a soportar también es menor ya que parte de ella ahora va directamente a los muros. Es más; en este supuesto los arcos diagonales casi no soportan más que su propio peso y por tanto casi serán inapreciables estas grietas de articulación. Por el contrario aparecerían unas grietas de independencia en sentido radial, evidenciando los cuerpos autónomos de funcionamiento. Como sucede en las cúpulas estas grietas tienen continuidad en los muros soportes.

El otro modelo o alternativa es considerando que los paños se apoyan sobre los arcos diagonales. En principio de manera parecida a la bóveda cuatripartita típica explicada anteriormente. Pero existe una diferencia fundamental; como decía Choisy esta bóveda ejerce empujes en todo su contorno. Las grietas de articulación son similares, incluso en dimensión, pues los arcos diagonales reciben unas cargas muy parecidas. Por el contrario las grietas de articulación son diferentes. Sobre cada arco formero aparece una sola grieta continua, de dirección curvilínea, poniendo de manifiesto que una parte del paño de la bóveda se ha independizado marchándose solidariamente con el muro de apoyo.

La figura 7 representa el comportamiento de este supuesto. A la vista del dibujo en planta estas grietas de independencia están a medio camino entre los dos casos explicados anteriormente. Si lo comparamos con la bóveda cuatripartita parece como si la grieta de muro y la de Sabouret se hubieran transformado en una sola de trazo curvo, arrancando en la posición de la grieta de muro y llegando hasta la tangencia de la grieta de Sabouret. Si lo comparamos con la figura 6, correspondiente a un comportamiento de cúpula, parece como si las grietas radiales se hubieran unido por parejas, cambiando su dirección, caminando hasta encontrarse con su compañera en lugar de dirigirse al centro.

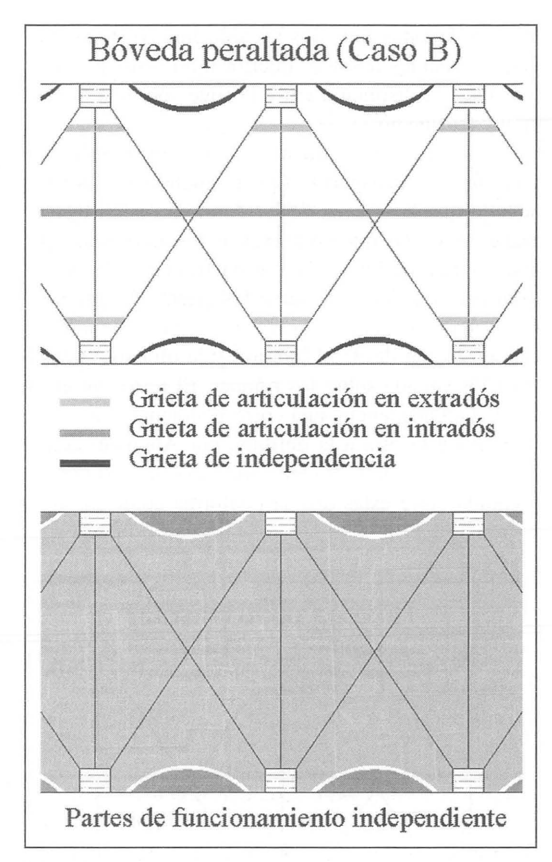


Figura 7

En la figura 8 se muestran los cuerpos independientes de la bóveda en una vista tridimensional según este modelo de comportamiento.

Volviendo al principio, en una hipotética primera visita a una iglesia desconocida y teniendo en cuenta estas consideraciones, podremos intuir su funcionamiento, e incluso parcialmente su geometría interpretando las fisuras en las bóvedas. Como ejemplo analizaremos dos casos concretos.

Convento de San Francisco en Fregenal de la Sierra

Según la historia de Fregenal escrita por D. José Quintero Carrasco[5] para la fundación del convento se «... señaló el sitio que llamaban el Alunado (en don-

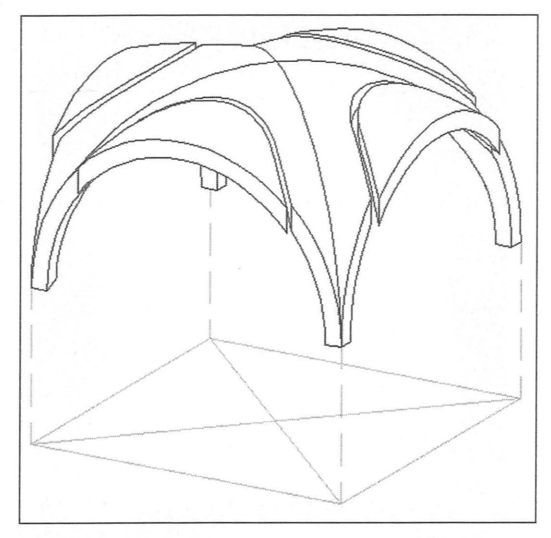


Figura 8

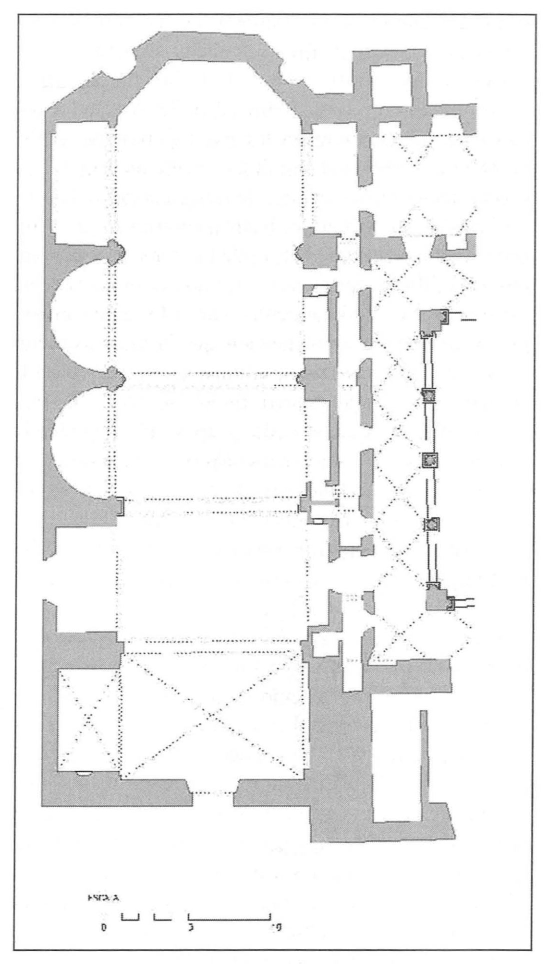


Figura 9

de hoy se encuentran sus ruinas, al final de la calle de San Francisco, dando sus traseras al Berrocal). Se comenzaron las obras el mismo año de 1563 y aunque casi todo se edificó de tapias, no obstante en Agosto del mismo año estuvo capaz (me parece muy pronto) de trasladarse la Comunidad, habiendo hecho pronto una regular Capilla para colocar al Santísimo Sacramento, el que en dicho mes se trasladó al nuevo convento procesionalmente asistiendo el clero, el cabildo, la nobleza y todo el pueblo, colocándose el Santísimo Sacramento en la Capilla que se había formado.

Siguió la obra (que en un principio, como antes se dice se había hecho provisionalmente a la ligera), ... Viendo los frexnenses que era muy costosa la obra, solicitó de S.M. la necesidad de algunos arbitrios para la conclusión y alcanzó la provisión en 1598 para ello por manera que, con estos arbitrios y limosnas del pueblo, la iglesia y lo principal del convento ya estaba concluido en el año 1619. El 21 de Julio de dicho año, que fue domingo, se colocó el Santísimo Sacramento en el Tabernáculo del Altar Mayor. Según los informes adquiridos, los frailes tuvieron que abandonar el convento en el año 1835, después de una ocupación de más de doscientos años, pero la iglesia siguió abierta al culto diciéndose Misa en ella, hasta que en 1880 aproximadamente en que, por el mal estado de la bóveda y ante el temor de que se desplomara, la clausuraron para el culto, llevando a la iglesia de Santa Ana las imágenes ...»

Encontramos pues un caso característico de un sistema estructural que funciona con total normalidad durante un período de tiempo superior a los dos siglos y tras disolverse la comunidad que le dió vida se arruina en un plazo inferior a cincuenta años.

La estructura abovedada tiene una luz máxima de 10,60 metros y una altura hasta la clave de 16 metros, lo cual en principio, con unos elementos de contrarresto en torno a los cuatro metros de espesor bruto (apenas sin desplomes al día de hoy), nos dan un sistema estable que superó sin mayores contratiem-

pos el terremoto de Lisboa de 1755. La figura 9 nos ofrece la planta de la iglesia de dicho convento.

Los empujes horizontales de la bóveda se sitúan como máximo en torno a las 2,5 y 3,5 toneladas por metro lineal, que incluso para una hoja bastante esbelta (18 cm.) no plantea ningún problema mecánico si el trasdosado es correcto y el reparto de cargas uniforme.

En este caso y dado el buen contrarresto que ofrecen los abovedados de las capillas exteriores y la magnitud de fábrica del claustro, no aparecen claramente los procesos de agrietamiento analizados anteriormente, por lo cual podemos deducir que la ruina estructural se debe una vez más a la mala conservación de la cubierta sobre la que posteriormente se interviene retirando parte de los trasdosados y apoyando el pretendido aligeramiento sobre elementos de fábrica que trasladan a las claves una serie de cargas puntuales para las que el sistema no se encuentra preparado.

La figura 10 nos muestra el estado actual de las bóvedas.

Convento de Santa Clara en Llerena

Según la historiadora Mª Pilar de la Peña Gómez,[6] el convento de Santa Clara situado en la calle Corredera de la ciudad de Llerena fue fundado por bula del papa Julio II de 7 de junio de 1.508. «En 1549 la iglesia del convento padece un deterioro notable y con pocas posibilidades de ser mejorado por falta de recursos: «Está caida por el suelo y descubierta porque no tiene tejado alguno y está por reedificar ..». Era preciso emprender su reforma para subsanar estos daños y ampliar su espacio «A de haçer la capilla principal de la dicha yglesia desde el arco toral adentro ynclusive de buena obra de manpuesto conforme a la traça dada por los ofiçiales que la empezaron a labrar». Los trabajos tenían que estar concluidos en noviembre de 1598. El retablo fue realizado entre 1597 y 1604 por Juan de Oviedo y de la Bandera y Juan Martínez Montañés. Por tanto a principios del siglo XVII la iglesia estaba del todo construida y las obras la dotaron de una fábrica con excelentes condiciones para su uso: «Quedo la iglesia con bastante espacio, qual convenía a tan grave convento: el altar mayor con un hermoso retablo y el coro alto y baxo de las mejores pieças de su género que ay en la provincia» ... «

La iglesia es una muestra del último Renacimiento español de finales del siglo XVI, en donde ya asoma

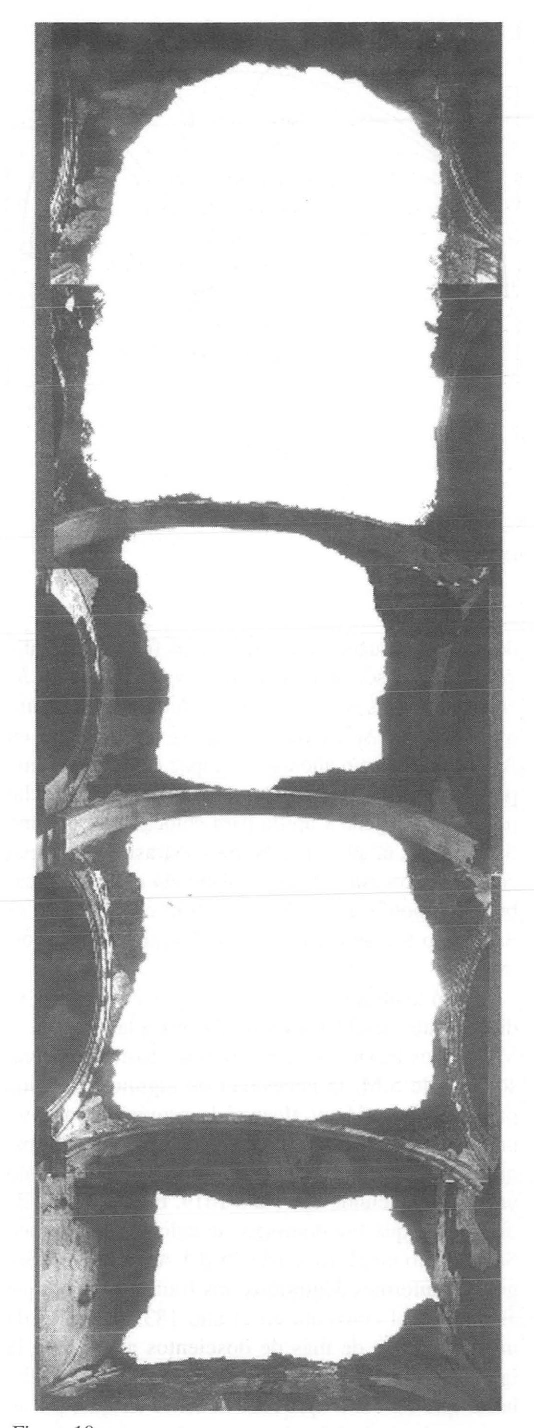


Figura 10

la ruptura con el clasicismo y los inicios del lenguaje barroco. Consta de una sola fachada construida a base de mampostería con verdugadas de ladrillo y una sola nave que se cubre con tres bóvedas vaídas decoradas con pintura al fresco, cuya planta se representa en la figura 11. Estas pinturas tienen por objeto la simulación de una serie de despieces de cantería con el que se disimula la «carencia» de material pétreo sustituido con gran acierto y economía de medios por la fábrica de ladrillo. También los arcos fajones y la parte de los muros situada sobre el nivel de la imposta reciben un tratamiento pictórico.

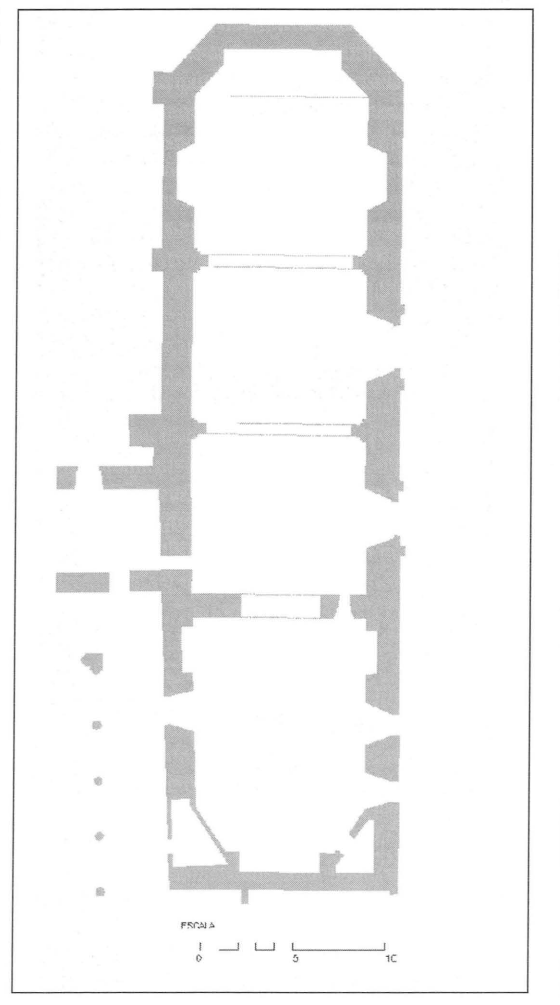


Figura 11

De características similares a la de San Francisco aunque algo menor en dimensiones tiene una luz máxima de 9,50 metros y una altura a la clave de 14 metros. En este caso los muros son continuos sin aligeramiento y apenas sin contrafuertes con un espesor bastante estricto: 1,80 metros aproximadamente.

Con una componente horizontal de los empujes en torno a las 2,7 toneladas por metro lineal en los puntos más altos de las bóvedas vaídas y 1,8 toneladas por metro lineal en los puntos más bajos. Es precisamente esta diferencia de empuje (en la que además el mayor está situado a mayor altura) la que nos hace pensar en un desplazamiento diferente en la cabeza de los muros según se encuentren frente al punto más alto de las bóvedas vaídas o frente a los arcos formeros. Estos últimos por lo tanto pierden buena parte de su función resistente convirtiéndose en elementos simbólicos y de apoyo para la construcción de las bóvedas mediante cimbras muy livianas o casi inexis-

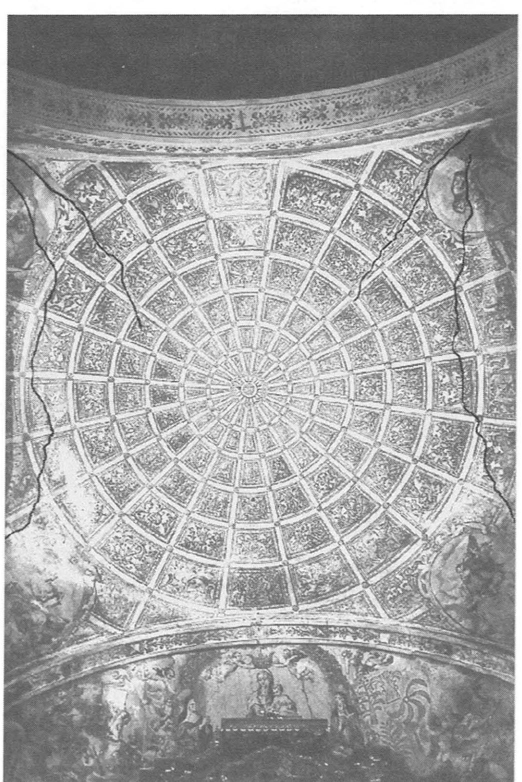


Figura 12

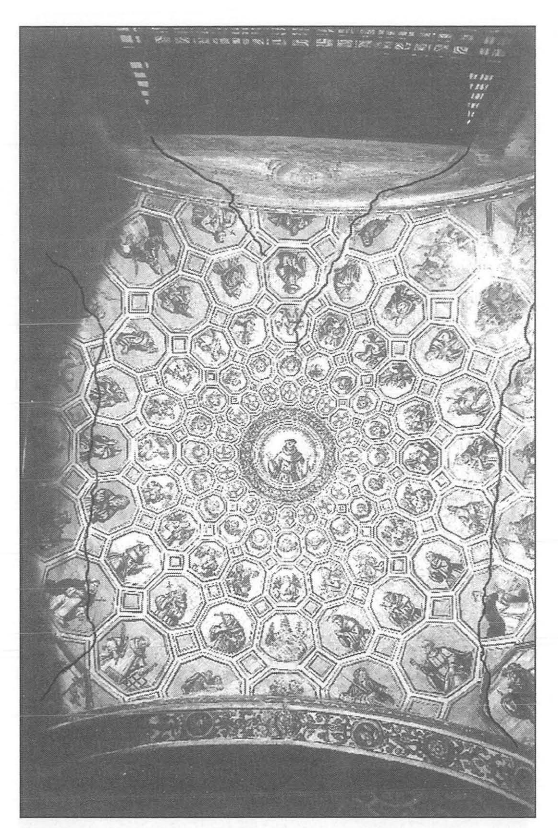


Figura 13

tentes. Estos arcos pasarán sin embargo a desempeñar una importante misión una vez aparecido el agrietamiento, cuando la plementería del casquete central pase a gravitar exclusivamente sobre él.

En la figura 12 y en la figura 13 podemos observar las grietas aparecidas en estas bóvedas. Como puede apreciarse la similitud de comportamiento entre el modelo teórico y la disposición de las grietas, una vez más confirma el acierto del método de análisis elegido y sobre todo el camino a seguir para la intervención y reparación de las lesiones aparecidas.

Notas

1. Choisy, A: *El arte de construir en Bizancio*. Instituto Juan de Herrera, Cehopu, Cedex. Madrid, 1997, p. 54
2. Ut supra, pp. 131-132
3. Fortea Luna, M, y López Bernal, V: *Bóvedas extremeñas, proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura, Badajoz,1998, p. 40
4. Heyman, J: *El esqueleto de la piedra, mecánica de la arquitectura de fábrica*. Instituto Juan de Herrera.Madrid. 1999, p.81
5. Quintero Carrasco, J: *Historia de Fregenal, incluidas tradiciones y leyendas*. Ed. autor. Don Benito, 1981.
6. Peña Gómez, Mª Pilar de la: *Arquitectura y urbanismo de Llerena*. Universidad de Extremadura. Ayuntamiento de Llerena., Cáceres, 1991.

Las bóvedas *in folio*: tradición y continuidad

Maria Rosa Frattaruolo

La bóveda, en su enorme variedad de tipos y configuraciones, ha representado durante siglos en la historia constructiva, una estructura de gran importancia arquitectónica, constituyendo, además del medio más idóneo para superar distancias de apoyo considerables, el elemento morfológico capaz de producir resultados arquitectónicos de notable riqueza y muy sugerentes.

La práctica constructiva reciente, al tiempo que ha adoptado en numerosas ocasiones estructuras abovedadas realizadas con los modernos materiales artificiales, parece haber abandonado por completo aquellas soluciones consolidadas por una tradición secular, como las bóvedas de ladrillos.

Las bóvedas realizadas con ladrillos se realizaban, generalmente con elementos puestos de canto o por superposición de hojas dispuestas por tabla.

Las bóvedas portantes *en folio* representan un modelo constructivo de particular relieve en la arquitectura histórica italiana. Existen numerosos ejemplos que testimonian un repetido y difundido empleo de dicho sistema constructivo en contextos geográficos y épocas históricas diferentes. Su presencia se registra en diversas experiencias históricas, a partir del período renacentista, durante el cual el uso de la tipología *en folio* aparece como una reinterpretación de la antigua técnica romana, hasta llegar a la segunda mitad del siglo XVIII y el XIX, donde se encuentran, además, en significativas intervenciones arquitectónicas, como también en el marco de la edificación denominada *menor*.

Por lo que se refiere a la distribución geográfica, los testimonios sobre el uso de dichas bóvedas están presentes en diversas áreas del territorio italiano. Uno de los ejemplos, se encuentra en la arquitectura de la casa rural en la zona de Volterra,[1] donde a partir de la mitad del siglo XVIII se verifica, con la reanudación de las inversiones en las fincas, la realización de bóvedas de cañón o por arista de poco espesor, construidas en *pianelle* (rasillas de 26×13×2 cm.) y yeso, limitadas a la cubierta del establo —por los inconvenientes que los vapores, producidos por los animales causaban sobre la estructura de madera del desván— sobre las piezas colocadas encima del establo y la cubierta del desván, debido a su propiedad de aislamiento térmico. La ventaja de este tipo de estructura se debía a su ligereza y al hecho de que podía ser construida sin cimbra. En Volterra, a partir del siglo XVI, fueron muchos los edificios particulares y públicos reestructurados o construidos en los que se emplean sobre todo bóvedas de poco espesor.[2]

Las obras de dichos edificios constituyeron, por consiguiente, escuelas empíricas de formación de mano de obra especializada. En efecto, los albañiles, que intervenían en y sobre las casas rurales para construirlas, para ampliarlas y modificarlas, vivían en Volterra. Éste era el lugar en el que se construía generalmente, donde se proponían soluciones formales y técnicas, y donde se experimentaban las novedades constructivas importadas de las ciudades vecinas.

También en las edificaciones rurales de la llanura boloñesa se han encontrado bóvedas *en folio* del tipo

en cañón y vaída, siendo mucho menos comunes aquellas por arista, casi siempre realizadas en ladrillo cortado de plano a tizón. El relleno se realiza con aglomerado de pedrisco pobre en aglutinante, sobre el cual se coloca directamente el pavimento. Hay que subrayar el cuidado puesto en la ejecución de las bóvedas que contrasta con las características de los muros, la gran regularidad de los ladrillos usados y de su disposición, así como la atención prestada a las zonas de imposta.[3]

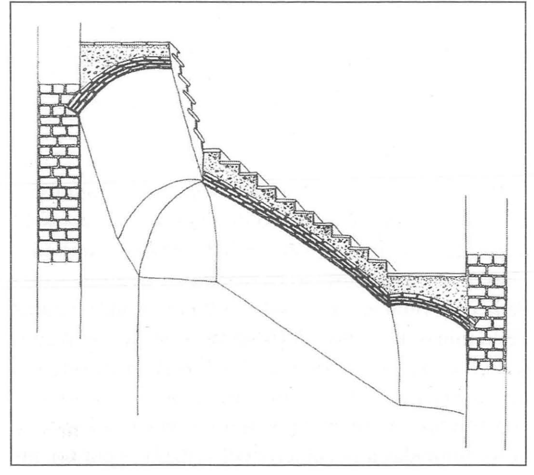


Figura 1
Escalera sobre bóvedas en «folio», en Aveta, A.: *Materiali e tecniche tradizionali nel napoletano*. Arte tipografica. Napoli, 1987

La bóveda *en folio* portante se ha empleado de forma extendida también en la zona de Nápoles[4] (figura 1), donde se construían empleando ladrillos comunes, o de poco espesor denominados *mattoncelle* o *pianelle*, puestos en obra con las caras más amplias tangentes a la superficie del intradós de las bóvedas unidas con mortero de yeso.

Los procedimientos de ejecución podían ser diversos: aprovechando la ligereza de las baldosas y el fraguado rápido del yeso, los albañiles trazaban la superficie del intradós con simples ságomas de madera, sin emplear cimbras, y realizaban la obra disponiendo los ladrillos en espina de pez.

Sin embargo, en otros casos preparaban una cercha ligera, sobre la que colocaban los elementos de ladrillo cubiertos en la parte superior con mortero, que penetraba entre las juntas de los mismos ladrillos. El número de hojas dependía de la amplitud de la bóveda y variaba entre dos y cinco hojas. Las bóvedas resultaban bastante ligeras y económicas, aunque no presentaban gran resistencia.[5]

Además, dicha técnica ha sido adoptada a menudo en intervenciones de reestructuración para transformar las características arquitectónicas de las construcciones y también para la ejecución de bóvedas de grandes dimensiones. Un testimonio de en este sentido son los trabajos realizados en el siglo XIX en las cubiertas de las grandes salas de biblioteca del *Palazzo Reale di Napoli*, en las que aparecen cinco registros de baldosas.[6]

En el *Convento del Buon Pastore* en Roma (figura 2), las bóvedas *en folio* se encuentran en la escale-

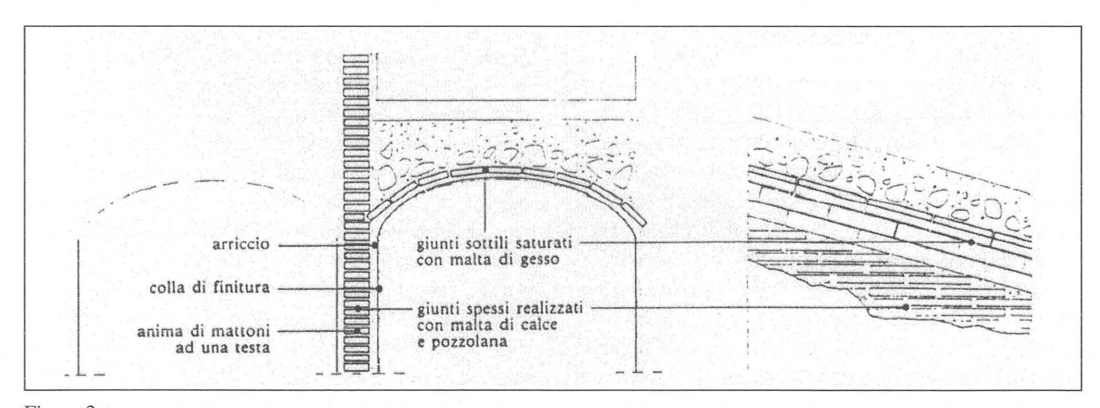


Figura 2
Bóveda en «folio» de una escalera del siglo XVII en el complejo del Buon Pastore de Roma, en Marconi, P. y otros: *Manuale del Recupero del Comune di Roma*. Roma, 1989

ra del siglo XVIII. En este caso, los ladrillos, paralelos a las generatrices de las bóvedas de cañón y por arista (figura 3), fueron cortados a medida en correspondencia con las nervaduras; los empalmes son de muy poco espesor y saturados con lechada de yeso de fraguado rápido, derramado en los intersticios después de haber apoyado simplemente los ladrillos en seco sobre una armadura de madera especial y ligera. En la Región del Lacio, el empleo de estructuras *en folio*, denominadas también a la *volterrana*, era habitual en el siglo XIX, sobre todo para los espacios abovedados de los apartamentos. Cuando el piso superior resultaba practicable el espesor mínimo de la bóveda (4-7 cm.) se duplicaba superponiendo una segunda hoja de ladrillos; además, se podía reforzar sobre el extradós empleando arcadas o *ghiere* con la dimensión del tizón y con un refuerzo en el costado en plano con cal apisonada para sostener el enladrillado.

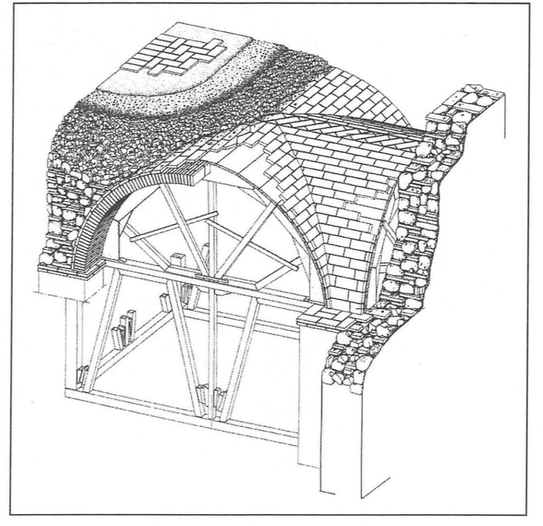


Figura 3
Bóveda por arista en «folio», Marconi, P. y otros: *Manuale del recupero del comune di Roma*. Roma, 1989

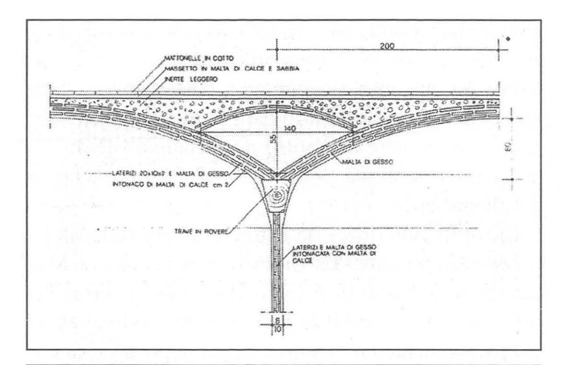
Las *volterranas*, cuya estructura es a menudo en espina de pez, se construyen en Roma con ladrillos *zoccoli*' y mortero particularmente tenaz. La puesta en obra se realiza de abajo hacia arriba, disponiendo cada ladrillo sobre los que ya se habían montado después de haber aplicado mortero de yeso en el canto y en la testa. Con posterioridad, para favorecer el encastre, se apisonan ligeramente, sosteniéndolos por un tiempo breve, necesario para el fraguado. La operación no requiere el empleo de armaduras de madera, al estar confiada sobre todo a la pericia técnica del albañil.[7]

Ejemplos ulteriores de estructuras abovedadas ligeras están presentes en Umbría[8] y en la zona de Macerata en la *Badía di Fiastra* (localidad Urbisaglia) donde, en la casa rural *la pecorareccia*, todo el espacio parcialmente en el subsuelo del depósito está cubierto con bóvedas *en folio* portantes.

En Sicilia, localidad de Mistretta, se encuentran bóvedas en ricón de claustro, cuyas terminaciones apoyan sus bordes inferiores en vigas de roble esbozadas, en forma de trapecio, dispuestas sobre soportes constituidos por montantes también en roble, colocados entre paneles enladrillados formados por ladrillos y yeso y enlucidos con mortero de cal. Las bóvedas estaban constituidas por ladrillos, denominados *tivuli* de $2 \times 10 \times 20$ cm. dispuestos en tres hojas, con empalmes salteados y aplicados con mortero de yeso. Las contrabóvedas, también de ladrillos y yeso, atenuaban el peso global de la estructura (figuras 4 y 5).

En los casos de bóvedas construidas de forma adyacente, las dos contrabóvedas, simétricas y contrapuestas estaban substituidas por una contrabóveda única. El intradós estaba enlucido con dos centímetros de mortero de cal. En el extradós de la bóveda y de la contrabóveda se disponía material ligero: piedras con mortero, fragmentos de ladrillos, deshechos de terracota, etc. hasta el plano apisonado pavimentado con baldosas de terracota sobre mortero de cal. La realización sí comportaba el empleo de cimbras. En los edificios de más plantas, contaban con bóvedas en varios pisos; los soportes, arriba descritos, se alineaban de forma vertical y, cruzando las contrabóvedas permanecían comprendidos entre las vigas dispuestas en los distintos pisos.[9]

Entre las intervenciones en época contemporánea, se pueden señalar los trabajos de recuperación del *Camminamento* cubierto de la Fortaleza de Giuliano di Sangallo,[10] durante los que se sustituyó una bóveda en ladrillos dispuestos en plano inestable con otra nueva, utilizando las técnicas constructivas de las bóvedas originarias (figura 6). Unos sistemas constructivos muy semejantes se encuentran también en otros



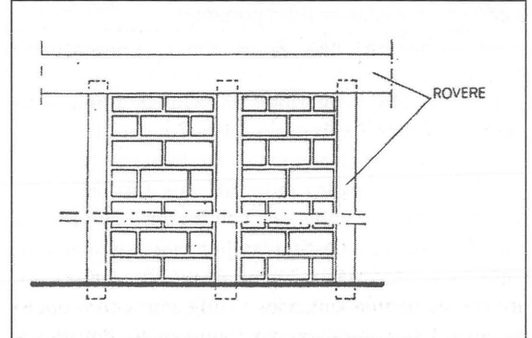


Figura 4
Planta y sección de bóveda de ladrillos y yeso en el pueblo de Mistretta, en Imborbone, P.: *Elementi costruttivi in gesso*. Palermo, 1992

países de la cuenca mediterránea, como Francia y España.

La técnica de bóvedas con estructuras ligeras *en folio* tuvo en el siglo XVIII una gran difusión en Francia, en especial en la región meridional de Roussillon, lindante con Cataluña. Desde hace siglos los constructores empleaban las bóvedas planas o *Roussillon* —nombre que deriva de la región en la que fue encontrada por los investigadores— para construir edificios agrícolas, caballerizas, establos e incluso iglesias. Su estructura resistente estaba constituida por bóvedas rebajadas, de notable ligereza, al menos si se comparan con las tradicionales construcciones en piedra de corte o ladrillos de canto. Por consiguiente, era natural que resultaran de poco empuje, tanto por el peso reducido de la estructura como por el propio modelo de funcionamiento. Además, su sección se caracterizaba por su mínimo espesor, así como por la posibilidad de utilizar materiales artifi-

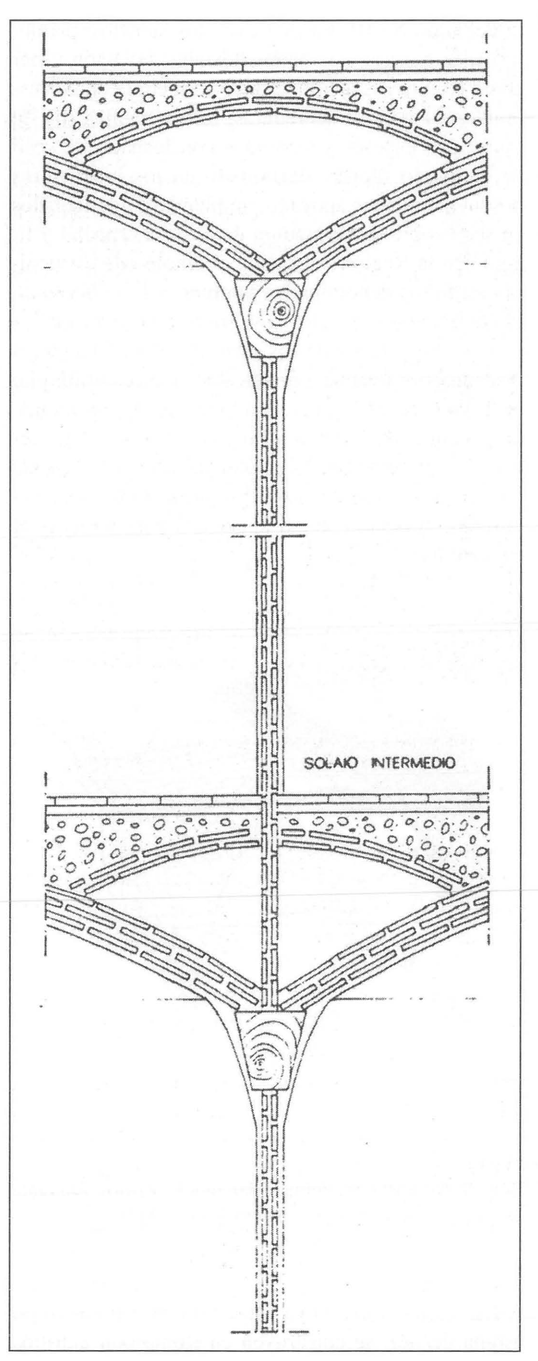
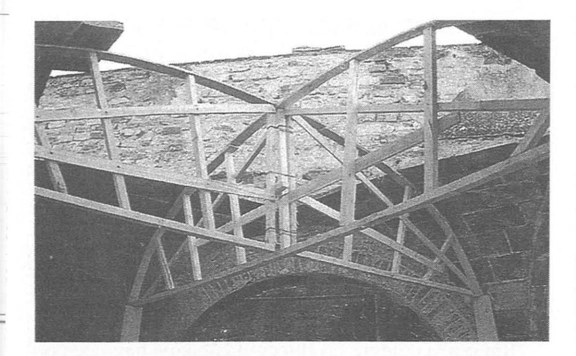


Figura 5
Detalle de la bóveda utilizada como solera, en Imborbone, P.: *Elementi costruttivi in gesso*. Palermo, 1992



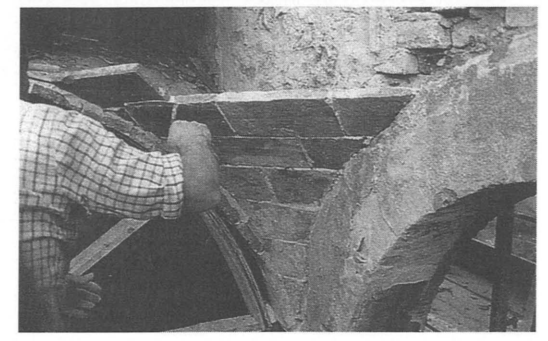


Figura 6
Corredor cubierto de la Fortaleza de Giuliano da Sangallo, en Carmassi, M.: *Architettura della semplicità*. Milano, 1992

ciales de bajo coste —ladrillos de poco espesor y yeso—. Asimismo, su construcción no exigía de pesadas cimbras como soporte provisional, siendo suficientes para su puesta en obra simples plantillas para marcar la traza geométrica.

La existencia de esta técnica, ya en época medieval, está testimoniada por la presencia de dichas bóvedas en un monasterio franciscano en Perpiñán, capital de Roussillon, en el cual se cubrieron sesenta celdas con bóvedas elípticas rebajadas de una sola hoja. El gran desarrollo señalado a partir de la segunda mitad del siglo XVIII se debe sobre todo al conde Félix Francoise d'Espie, que perfeccionó un método constructivo que preveía el empleo de ladrillos refractarios especiales para la ejecución de las cubiertas planas en sustitución de los sistemas tradicionales en madera y ladrillo. En 1754, publicó el manual titulado *La maniere de rendre toutes sortes d'edificies incombustibles*, en el que se describe el sistema constructivo y su correspondiente desarrollo en la Historia de la construcción[11] (figura 7).

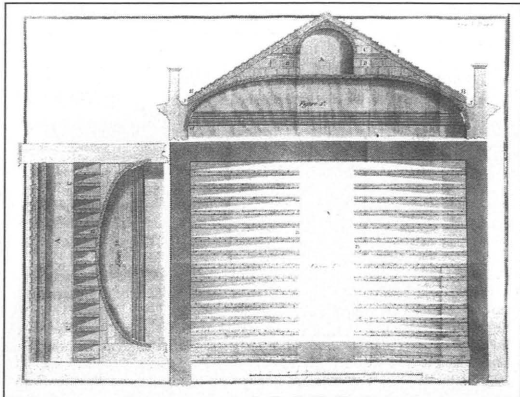


Figura 7
Tolosa, casa de Conte d'Espie, en González Moreno Navarro, J. L.: *El legado aculto de Vitruvio*. Madrid, 1993

A través de esta publicación, el sistema de d'Espie se volvió célebre también fuera de las fronteras francesas. De hecho, el texto se publicó en inglés y el mismo autor fue convocado a Inglaterra para asesorar en ocasión de la construcción de importantes edificios industriales. Esta técnica fue adprtada posteriormente también por las Instituciones Militares que la emplearon frecuentemente para la construcción de numerosos edificios, como el Ministerio de Relaciones Exteriores y de la Marina.[12]

Con el término *bóveda catalana* se define generalmente la bóveda en ladrillo, realizada sin empleo de cimbras según una técnica constructiva de origen popular y artesanal, cuyo testimonio más antiguo se encuentra en algunos edificios del período medieval. La razón por la que se denomina *catalana*, no deriva de su origen geográfico, puesto que dicho sistema constructivo se emplea también en otras áreas del territorio español y portugués, sino que se atribuye al uso extendido que se hacía de ella en Cataluña en el siglo XIX. La habilidad alcanzada por los albañiles catalanes permitió a los arquitectos del período Modernista dar vida a inéditas soluciones arquitectónicas, centradas en un peculiar e innovador empleo de estructuras abovedadas tabicadas. Por lo que la celebridad alcanzada por la vasta producción arquitectónica modernista, desde la obra de Gaudí y Domenèch y Montaner, la de Puigh y Cadafalch, hasta la multitud de alumnos como Martinell, Jujol, Rubió y Bellver, Muncunill, y otros, es la que da también notorie-

dad precisamente a las bóvedas tabicadas (figuras 8 y 9).

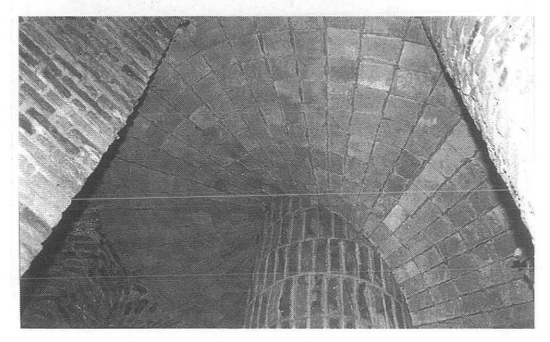
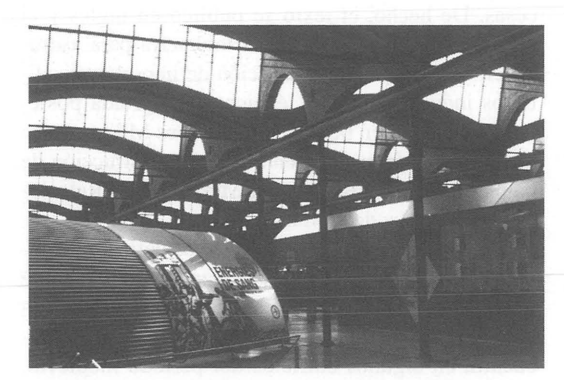


Figura 8
Santa Coloma de Cervallö, Gaudí A., Cripta Güell, escalera tabicada



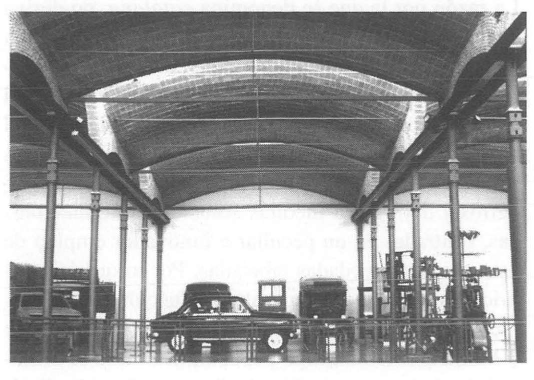


Figura 9
Terrassa, Muncunill L., Fabrica Aymerich y Amat, interior

El sistema constructivo preveía la realización de tres o más hojas de ladrillos de poco espesor colocados en plano. La primera hoja (sencillo), ejecutada sin el auxilio de encofrados sino de cerchas ligeras deslizables para el control geométrico, se coloca con pasta de yeso. Pero en las siguientes hojas (doblado) se emplea mortero de cal. Las características de dicho procedimiento constructivo son: la ligereza, gracias al reducido espesor de las rasillas (30×15×1,5 cm.) colocadas en plano; y la elevada capacidad resistente debido a la estructura cohesiva.[13]

Junto a la célebre producción catalana hay que considerar la experiencia estadounidense desarrollada por Rafael Guastavino Moreno,[14] arquitecto y constructor barcelonés, que emigró a finales del siglo XIX a Estados Unidos. Precisamente en este país, Guastavino, en calidad de responsable de una empresa constructora, realiza cerca de dos mil intervenciones, al tiempo que lleva a cabo una campaña experimental con el objetivo de alcanzar la formulación teórica del comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas, definidas por él mismo como *timbrel vault* (figura 10).

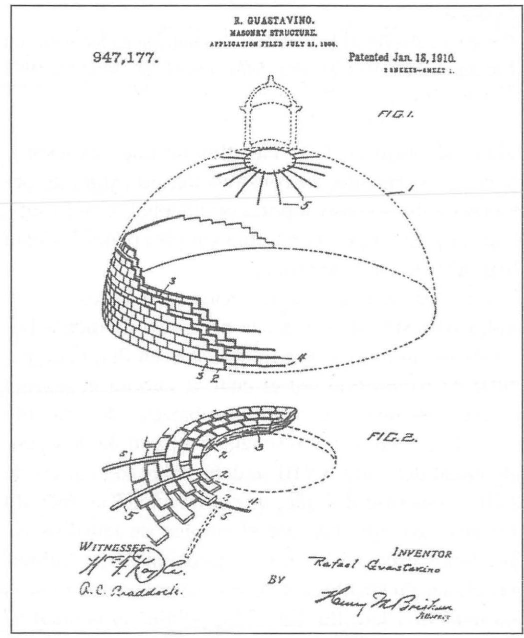


Figura 10
Patente de propiedad constructivas de la bóveda esférica, en Guastavino, M.: *Essay on the theory and history of the cohesive construction*. Boston, 1893

La voluntad de encontrar las raíces y los modelos a los que se refiere esta antigua técnica constructiva, así como las posibles conexiones o influencias entre los contextos geográficos analizados, se vuelve bastante difícil al no ser oficial este sistema constructivo, custodiado como patrimonio exclusivo por algunos maestros albañiles locales. Parece delinearse pues una aparente antinomia entre la hipótesis que tiende a considerar este sistema como construcción espontánea y la hipótesis que asevera como deriva de precedentes modelos árabes y romanos (figuras 11 y 12), a través de un proceso de afinamiento constructivo desarrollado durante el Medievo. Esta consideración se confirma precisamente por la vasta presencia de dicha tipología constructiva en los distintos contextos analizados; por lo tanto, una presencia que comprende tanto el área donde la influencia de la civilización romana fue más sensible y donde esta civilización dejó un conspicuo número de testimonios arquitectónicos, como aquellos contextos geográficos en los cuales ha sido mayor la influencia ejercida por la cultura árabe, exceptuando la región francesa de Languedoc-Roussillon, que nunca fue sometida por el dominio islámico. Además, cabe recordar que la región de Roussillon formó parte, hasta 1659, de la Cataluña de los reyes aragoneses, y que la misma dominación política se instauró en la zona meridional de Italia a partir de 1303.[15]

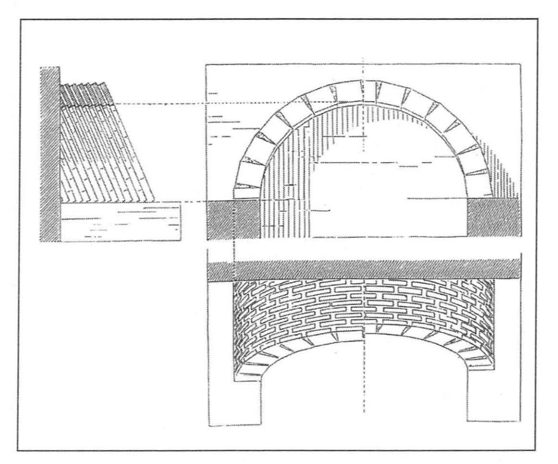


Figura 11
Construcción de una bóveda de ladrillos colocados en hileras en forma inclinada, Choisy, A.: *El arte de construie en Bisancio*. Traducción de Girón Sierr. Madrid, 1997

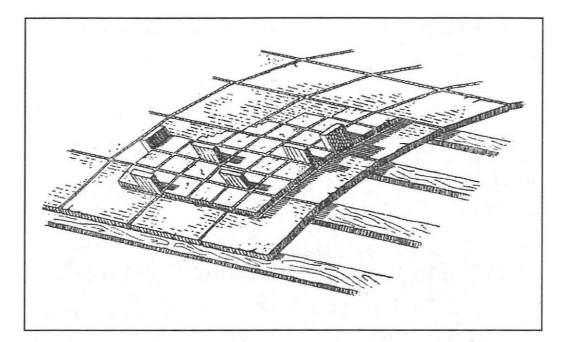


Figura 12
Cimbra construida con ladrillos colocados en forma plana, Choisy, A., en Lugli, G.: *La tecnica edilizia romana*. Roma, 1957

Notas

1. Cacialli, C.: *La casa colonica ed il paesaggio agrario volterraneo*. 1989.
2. «Le volte con corsi a spina di pesce in mezzane principiano ad essere voltate a Firenze dopo il 1425-'40 senza armatura. La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore fu indubbiamente una scuola di alto livello ed insieme il luogo di procedimenti costruttivi che vennero poi trasferiti nelle costruzioni patrizie e quindi molto più tardi, negli edifici più moderni». Murray, P.: *L'architettura del Rinascimento Italiano*.Bari, 1986, pp. 26-27.
3. Piccinnini, M.: «Il recupero dell'edilizia rurale nella Pianura bolognese», Atti del Convegno di Studi: *La ricerca del recupero edilizio*, Ancona, 1994.
4. Aveta, A.: *Materiali e tecniche tradizionali nel Napoletano*. Nápoli, 1987.
5. Ibidem, p. 144.
6. Ut supra.
7. Marconi, P. et alt.: *Manuale del recupero del Comune di Roma*. DEI. Roma, 1989.
8. Giovannetti, F. Et alt.: *Manuale di Recupero di Cittá di castello*. Roma, 1990.
9. Imborbone, P.: *Elementi costruttivi in gesso*. Palermo, 1992.
10. Carmassi, M.: *Architettura della semplicitá*. Milano, 1992.
11. Lemma, M.: *Dei tetti ammattonati. Nuova edizione critica del trattato scritto da Felix Francoise d'Espie (1754)*. Venezia, 1996.
12. Gulli, R.: «Le volte in folio portanti: tecnica costruttiva e impiego nell'edilizia storica moderna». *Atti del Convegno Arco*. Roma, 1993.

13. Guastavino, R.: *Essay on the theory and history of the cohesive construction*. Boston, 1893. En este texto se describen y analizan las estructuras de múltiples hojas de ladrillo, a través de la aplicación del concepto teórico de «cohesión estructural».
14. Su biografía y su obra están ampliamente expuestas en el ensayo de Collins, G.R.: *The transfer of thin mosonery vaulting from Spain to America*. Nueva York, 1968.
15. Gulli, R.; Mocchi, G.: *Bóvedas Tabicadas*. Roma, 1995.

Extracción de marés. Utillaje y procedimiento

Vicente A. Galvañ Llopis
María Jesús Ferrer Graciá

Es conocida la dificultad que tienen las *Pitiusas* de abastecimiento de materiales, particularmente las islas que están más alejadas de la península, y que padecen unas condiciones meteorológicas normalmente desfavorables (viento de tramontana y fuerte marejadas). Este natural aislamiento de las islas justifica la necesidad de autoabastecimiento de sus habitantes. Así, el empleo casi exclusivo del marés conformando bloques o placas de distintos formatos se ha mantenido hasta épocas más recientes, en tanto ha sido menor el contacto de los distintos lugares con la península o entre ellos. Actualmente, la irrupción y competencia de otros materiales y técnicas pone en peligro la pervivencia del uso y la cultura del marés.

El marés es una roca característica de las islas Baleares. Es un pétreo eminentemente calcáreo, probablemente llamado *marés* por haberse formado cerca del mar y contener en su masa multitud de restos de organismos fósiles de origen marino, que a veces pueden apreciarse a simple vista. En conjunto, se encuentra netamente constituida y cementada por carbonatos. Es una piedra blanda y porosa, fácilmente trabajable, de color claro y de alta porosidad abierta de tacto rugoso y color claro.

El marés es una arenisca calcárea, concretamente una biocalcarenita que se produjo durante el pleistoceno en la era cuaternaria.

Es una roca sedimentaria, formada por la compactación de restos de organismos marinos y elementos terrígenos que arrastran la erosión del viento y los torrentes; también el mar aporta los elementos arenosos y los restos orgánicos. Por lo tanto, el marés está compuesto por fragmentos de fósiles marinos y granos de otras rocas, generalmente cementados con material carbonatado poco abundante, a veces con procesos de micritización. La composición varía enormemente en función del afloramiento, pero como rasgo común, se trata de una roca formada fundamentalmente por elementos calcáreos, bien sean granos procedentes de rocas calizas o fragmentos de fósiles marinos, cementados por material calcáreo como resultado de procesos diagenéticos. Se aprecia, incluso, en ocasiones, recristalización de los carbonatos primigenios.

Presenta siempre color claro, pero con una gama de tonalidades que abarca desde el blanco amarillento, crudo o crema hasta el color pardo o tostado, pasando por los blancos verdosos o tonos anaranjados, siempre en función de su composición. Es un pétreo relativamente friable y de alta porosidad. Estratificado horizontalmente y en forma masiva, proporciona la suficiente homogeneidad para ser explotada en cantera hasta llegar a una capa donde se pone de manifiesto su interrupción temporal o su inconveniente modificación composicional o textural en el proceso de sedimentación.

Como resultado de la acumulación y compactación de sus componentes, se forman masas de marés que se encuentran distribuidas por las islas y que son explotadas como canteras.

La heterogeneidad de su composición hace que el marés presente diferencias relativamente importantes

de dureza y aspecto. A veces carece por completo de elementos terrígenos, y de hecho constituye una verdadera calcárea formada por restos de organismos fósiles y carbonato de calcio precipitado químicamente. En otras ocasiones los elementos terrígenos son muy abundantes y dan lugar a material de componentes muy variados. Muchas veces parte de estos componentes no son reconocibles al estar la roca recristalizada. Otros corresponden a acumulaciones de restos de organismos con caparazones de carbonato cálcico que no han sufrido ninguna transformación química. Es muy frecuente que el componente principal de la roca sean las elementos marinos de diversas formas más o menos redondeadas.

Las características principales de esta roca son:

Figura 1
Cantera de marés en Menorca. Se aprecian los distintos formatos de los bloques extraídos.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Humedad a 150ºC	2,80%
Óxido Cálcico (CaO)	50,50%
Anhídrido Carbónico (CO2)	40,60%
Óxido de Magnesio (MgO)	3,40%
Alúmina (Al_2O_3)	1,90%
Sílice (SiO_2)	0,35%
Óxido Férrico Anhidro	0,15%
Perdida al fuego a 975ºC	43,00%
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS	
Densidad Real	2,65 gr/cm^3
Densidad Aparente	1,62 gr/cm^3
Absorción de Agua	19,20%
Compacidad	43,00%
Resistencia a Compresión	40,00 Kg/cm^2
(Corresponde a una caliza muy blanda)	
Resistencia a Flexión	20,00 Kg/cm^2

Fuente: Laboratorio General de Ensayos e Investigaciones de la Generalitat de Cataluña.

Desde el inicio de la actividad constructiva en las Baleares se han empleado, prácticamente como únicos materiales básicos de construcción, las maderas, la «pedra viva» (caliza compacta y dura) y marés. La madera, lógicamente, procedía de especies autóctonas, y el marés se obtenía y se obtiene del suelo de las islas.

La explotación del marés se ha producido siempre, de forma similar y mediante el empleo de unas características herramientas, en las canteras del material, distribuidas en el territorio insular.

Inicialmente, y por cuestiones relacionadas con las dificultades del transporte de las piezas obtenidas, se extraía la piedra de aquellas canteras próximas al lugar donde se realizaba la construcción, e incluso en una situación tan cercana como supone la opción, posible y real, de configurar los sótanos de la edificación extrayendo los bloques del material con la que se construiría. También se obtenía el marés de canteras ubicadas de manera que facilitaban el referido transporte, como es el caso de las canteras junto al mar, en las que el material extraído se trasladaba en barcas con cierta facilidad.

El cantero balear realizaba la extracción del material normalmente como una actividad alternativa a su oficio. El empleo tradicional de los habitantes de Baleares se relacionaba con el cultivo de la tierra y eran los propios campesinos o labradores quienes se ocupaban de la explotación de las canteras en los períodos de *impasse* de las labores del campo. En tanto pervive la explotación tradicional de las canteras, esto es, sin que se introduzca la mecanización, se mantienen las técnicas y las herramientas empleadas históricamente, con modificaciones o mejoras que afectan mínimamente al material.

La gran modificación en la obtención del marés y paralelamente en el funcionamiento de las canteras, se produce, ya entrado el siglo XX, como consecuencia de la mecanización de la extracción.

En cualquier caso, en lo que corresponde a las operaciones que precisa para ser llevada a cabo, la extrac-

ción del marés puede estructurarse en cuatro operaciones básicas: corte, separación, transporte y acabado de la pieza. El corte y la separación configuran el bloque de marés, naturalmente son fundamentales, y por tanto imprescindibles. Corresponden a las operaciones que se realizan para obtener las distintas piezas de piedra, aislándolas de la masa de la cantera. Las últimas, transporte y acabado (talla o desbaste), serán o no necesarias según el estado, dimensiones y situación del bloque pétreo resultante de las dos primeras.

La obtención de los bloques de marés al modo tradicional, bien desde la superficie o desde el frente de la explotación, se ha producido siempre de forma similar. El proceso de obtención de los bloques comienza determinando la cantera, es decir, delimitando el lugar donde se considera oportuno acometer la extracción. Para ello se habrán realizado, previamente, algunas catas en el terreno comprobando la calidad del material y estimando si el volumen previsible rentabiliza la labor.

Una vez así se ha decidido, la apertura de la cantera, comienza con el desbroce y limpieza superficial del terreno. El cantero elimina la parte superficial del material: la capa de tierra vegetal y la parte de marés meterorizado, esto es, aquel sobre el que han actuado los agentes atmosféricos modificándolo. En el caso de que la cantera corresponda a una explotación subterránea,[1] esta limpieza del material se realizará únicamente en la superficie vertical de acceso.

Como se trasluce de lo anterior, la explotación a cielo abierto elimina el terreno suelto y fértil de la superficie. La cantera subterránea progresa hacia el interior de la tierra, pasando desapercibida en el paisaje.

Para esta tarea de limpieza se emplea la *picassa (almadana),* una herramienta intermedia entre un pico y una maza, y que, por lo tanto, permite igualmente picar o golpear, rompiendo el material y retirando el terreno, para preparar un rellano en el que comenzar la extracción.

Seguidamente se alisan los primeros centímetros de piedra con la *escoda.* En el caso de la cantera a cielo abierto, se despeja una superficie rectangular sobre el suelo, dejándola lista para la extracción. La escoda es una herramienta cortante de doble filo, como una azada fina con dos planos de corte, uno a cada lado, en la cabeza.

La extracción, propiamente dicha, comenzaba realizando en el suelo dos surcos o rozas paralelas, normalmente a unos 60 cm de distancia, que coincidían con las dos caras laterales de la hilada de bloques. Se marcaban en la superficie con la mano o con el mango de alguna herramienta midiendo la separación con una regla de madera, la *reggia*, y se excavaban con la escoda, herramienta ya descrita, fundamental en la labor de obtención del bloque.

La profundidad de las rozas abiertas en el suelo coincidiría con la altura del futuro sillar, habitualmente de unos 20 cm. Para evitar la desviación del corte hacia uno de los lados, cuando el cantero había profundizado unos 10 cm, continuaba picando situándose en posición simétrica, de manera que se corrigiese el posible desplome de la abertura de la misma manera que se había producido.

La siguiente operación consistía en realizar una serie de rozas paralelas entre ellas y perpendicular a los surcos anteriores, aproximadamente cada 40 cm., delimitando las otras dos caras laterales de los bloques de la hilada o bancada.

A continuación, llegaba el momento de separar la cara posterior de los bloques, de la masa de material de la cantera. Para ello era preciso sacrificar una de las piezas delimitada por las rozas, con el fin de producir un hueco que posibilitase el acceso de las herramientas a una de las aristas más largas de la cara inferior de cada uno de los bloques de piedra contiguos. Este hueco se limpiaba de tierra y fragmentos de roca con el *càvec*, una especie de azada plana y ancha que permitía recoger y sacar del hueco los restos de material y depositarlos en un capazo. Estos pequeños fragmentos, arena y polvo de marés, constituyen el producto llamado *sauló*, que no se desecha, sino que es objeto de utilización.

Era entonces el momento de acometer la separación de uno de los bloques a que daba acceso el hueco. Se actuaba del siguiente modo: con la escoda se realizaba una pequeña incisión a lo largo de toda la arista inferior del bloque a separar y en esta ranura se situaban varias planchitas de hierro (*llaunes*), habitualmente tres, con sus correspondientes cuñas o *tascons*, ajustándolas con una pico o maza llamada *picot.*

Este proceder no era gratuito, pues separar el bloque por su cara más ancha evitaba que las tensiones que producía el despegue lo partieran. Si consideramos que la totalidad de la superficie inferior del bloque debía desprenderse como resultado de los tracciones inducidas desde una de sus aristas, es fácil

comprender que la más adecuada como frente de trabajo fuera una de las dos más largas de la base ya que se afectaba más homogéneamente a toda la base y se minimizaban las posibilidades de rotura de la pieza.

El delicado proceso de separación se realizaba colocándose el cantero en la dirección de la hilada y sobre el bloque a desprender, con los pies situados uno a cada lado de la pieza. Desde arriba y guiado por el sonido de los impactos y por la vibración del suelo, iba golpeando las cuñas con el picot. La respuesta era diferente en función de las condiciones del material y consecuentemente el cantero ajustaba el ritmo e intensidad de su trabajo evitando fisuras o roturas de los bloques. De esta manera y gradualmente se iba desprendiendo la cara posterior del bloque, quedando separado la pieza de marés.

Para sacarla del hueco se introducía el *perpal* o *alzaprima*, una barra de hierro que, a modo de palanca, y con la ayuda de la *picassa* permitía dar la vuelta al bloque colocándolo en vertical para sacarlo de la bancada y así dejar acceso libre para la extracción de la siguiente pieza.

Esta operación se repetía hasta la extracción del total de bloques de la hilada. A continuación se reiniciaba el proceso descrito, extrayendo los bloques de sucesivas hiladas y después, una vez se había procedido repetitivamente en todas las hiladas de ese nivel, se iniciaban las labores en el siguiente plano de extracción. Siempre, antes de comenzar las operaciones de extracción en cada nivel, el plano del suelo se alisaba con la *picassa* para regularizar la superficie.

Por reiteración del procedimiento en cada nivel de explotación se va profundizando en el terreno cada vez más, produciendo como resultado impresionantes vacíos de deslumbrante blancura tallados en el suelo, que progresan hasta que las condiciones del material obtenido aconsejan el cese de su explotación.

Tras la extracción de los bloques se inicia el proceso de traslado de los mismos hasta el lugar donde se acumulan para proceder a su comercialización.

Los sistemas de traslado de los bloques se mantuvieron sin evolucionar hasta mediando del siglo XIX. El método básico era el *bornejat,* que consistía en desplazar las piezas girándolas sobre sí mismas colocándolas sucesivamente sobre cada uno de los cuatro vértices de una de sus caras, normalmente la cara menor, así el esfuerzo a realizar era el mínimo (menor momento de giro de la pieza) a la vez que se optimizaba la posición del cantero para la manipulación (inclinación menor de la espalda). Se aprovechaba la inercia del material al desequilibrarlo dirigiéndolo convenientemente y trasladándolo de esta forma. Actualmente se emplea aún este método de desplazamiento para recorrer distancias cortas.

Para elevar los bloques desde el fondo de la excavación, que cada vez quedaba a mayor profundidad, se utilizaba una escalera de peldaños tallados en la piedra. Estas escaleras, esculpidas en un frente lateral de la cantera se empleaban, igualmente, para el acceso de herramientas y canteros al plano de extracción.

Los bloques, una vez situados frente al peldaño inferior se volteaban sobre una de las aristas más próximas a la escalera para apoyar sobre uno de los peldaños la siguiente arista, levantando el bloque a peso hasta convertir en eje de giro la arista apoyada, y dar la vuelta otra vez al bloque para apoyar esta vez la siguiente arista en uno o dos peldaños más arriba.

Este sistema permitía trasladar los bloques desde el fondo de extracción de la cantera hasta la superficie.

Para explotaciones de poca profundidad o configuradas por escalonamientos sucesivos, otro sistema que facilitaba el izado de los bloques hasta la superficie era el uso de cuerdas, con el siguiente procedimiento, conocido como *torn de llentia*: dos canteros se colocaban en la parte superior del escalón, por encima del material a elevar y dejaban caer sendas cuerdas sujetando, cada una de ellas por sus dos extremos; sobre el tramo central de las cuerdas se situaba la pieza de marés, cada cantero sostenía uno de los extremos de su cuerda aprisionándolo bajo los pies y con las dos manos, libres, tiraba progresivamente del cabo que sostenía. Este procedimiento se realizaba al unísono por ambos canteros, y el bloque de marés se iba elevando por giros sucesivos al irse acortando la longitud de las cuerdas que lo mantenían, hasta alcanzar la parte el borde superior de la cantera.[2]

En el siglo XIX se introduce un ingenio mecánico, como alternativa a los procedimientos anteriores. Se trata de *el molino* (*es molí*), máquina de tracción manual empleada inicialmente en las explotaciones de pétreos de Mallorca e introducido en Menorca posteriormente, a mediados del XIX.[3] El molino es una rueda que hace función de polea permitiendo elevar mediante un cable, antes una cuerda, los bloques de

marés. Cada bloque era elevado individualmente, atado con una cuerda o cable por uno o dos hombres que hacían girar la rueda del molino empujando sus radios manualmente.

Esta opción de evacuación de bloques permitió incrementar la profundidad de las canteras, lo que dificultó el acceso de los canteros. Ya no son precisas las gradas para sacar los bloques de la cantera, así que los canteros emplearán la escalera de mano, en los primeros metros y después se usará la pared de la propia cantera, bien con escaleras talladas a mano o con huecos alineados verticalmente en que situar los pies y las manos.

Los capazos, llenos de *sauló*, a que nos hemos referido anteriormente, se sacaban con una polea sujeta en el extremo de un rollizo clavado en el suelo e inclinado y apuntalado para mantenerlo fijo. Este sistema es antecesor del *molino* y no servía para elevar los bloques, que eran demasiado pesados y como el sistema de la polea no permite el reparto de la fuerza, el trabajo resultaba agotador para el cantero.[4]

La necesidad de las labores de acabado del bloque son consecuencia de los desperfectos que la extracción y el transporte produce en las piezas. También pueden deberse al interés por conseguir bloques más pequeños para su comercialización. Para estos menesteres, preparación, acabado o *refino* y talla o corte de las piezas, respectivamente, las herramientas que se empleaban son la sierra y el *tallant* (*trinchante*).

El *tallant* es una herramienta plana con mango de madera y dos cabezas metálicas, como un hacha de doble filo, que sirve para igualar y alisar las caras del bloque, especialmente la cara posterior, en que es preciso reducir las desigualdades producidas por el procedimiento de despegue de la pieza.

La *sierra de cantero* está constituida por un bastidor de madera de cinco a siete palmos de longitud que tensa una hoja metálica dentada llamada *verduc*. La sierra se sujeta por dos personas, una a cada lado que, alternativamente tiran de ella, desplazándola en un movimiento de vaivén que termina por producir el corte en el material.

La mecanización se introduce en la extracción del marés modificando el procedimiento de explotación y la configuración de la cantera. La explotación mecánica precisa de un terreno desnudo y plano. Es ajena a las heterogeneidades del material y a las direcciones preferentes resultantes de su formación. La máquina se coloca sobre raíles y monótonamente profundiza en el terreno, generando una excavación precisa, cartesiana, definida por perfectos diedros escuadrados.

La mecanización va suplantando progresivamente las antiguas herramientas: al verduc por la *sierra cortadora*; la escoda, el pico y los *tascons* por la *sierra de disco. El montacargas o maquinillo* sustituye al molino, cuando la cantera no permite el trazado de una rampa que dé acceso a los *camiones* al fondo de la cantera, sistema usual en las canteras de mayor superficie. El *perpal* sigue usándose para desencajar los bloques y el *cávec* para recoger pequeños cantidades de *sauló*, cuando son ínfimas para el uso del *bulldozer*.

Las nuevas herramientas incluyen utensilios auxiliares; la sierra de disco precisa de *raíles (carriles), rossinyol y calzos de madera*. El *maquinillo* se acompaña de *cables, pinza y mando a distancia*. El cantero se convierte en supervisor y mecánico. De escuchar la vibración del marés, el cantero pasará a interpretar el sonido de la máquina.

El camino hasta la utilización de la *sierra de disco* comienza, según parece, introduciendo, como máquina de corte, una pequeña hélice de dos palas que giraba con la ayuda de un motor. Se sujetaba en el lateral de un cajón que se desplazaba sobre raíles impulsada por el cantero. Realizaba el corte vertical en la superficie horizontal del terreno, pero la separación de los bloques desprendiéndolos del suelo debía resolverse por métodos tradicionales.

La hélice evoluciona aumentando en número de palas hasta constituir una sierra de disco de, cada vez, un mayor número de puntas y más adelante se adaptará un motor que permitirá que la máquina se impulse sola. Posteriormente permitirá el uso de dos discos de corte simultáneamente, al principio ambos verticales para cortar la anchura de los bloques de una vez, y después en perpendicular. Como última innovación, uno de los discos de corte se situará en horizontal para cortar los bloques por su base, resolviendo de este modo el despegue de la base de los bloques. En algunos casos y en función de las necesidades, la estructura de la máquina incorporará un motor de marcha atrás que le permitirá retroceder.

El proceder a la extracción de los bloques mediante las máquinas, requiere, en esencia, el mismo procedimiento que se empleaba manualmente, con la diferencia de que el paso previo a la separación de los bloques, que manualmente implicaba el sacrificio de

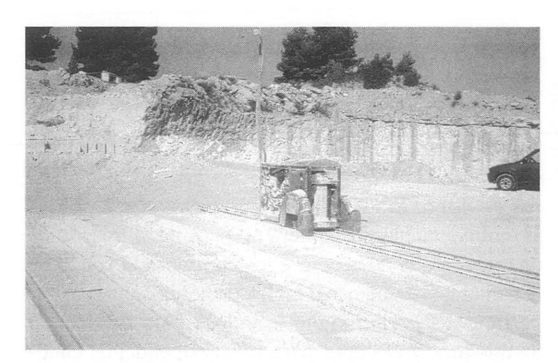


Figura 2
Máquina con sierra de disco desplazada sobre raíles. Se realiza el corte vertical para la obtención del bloque.

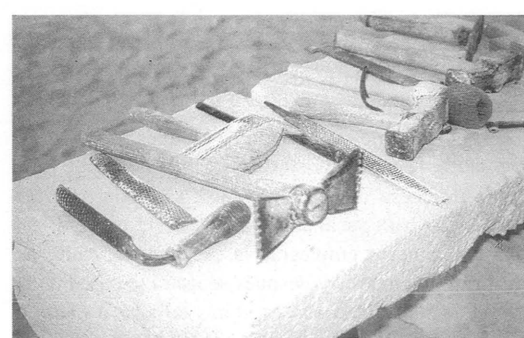


Figura 5
Diversas herramientas para el acabado manual del bloque de marés.

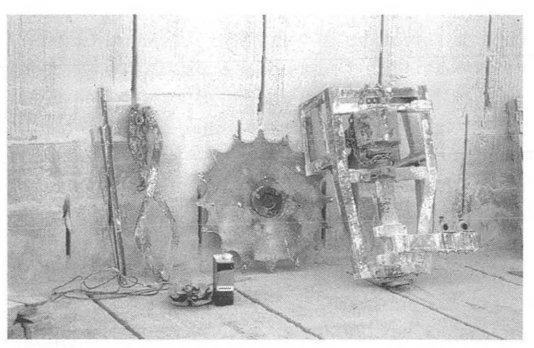


Figura 4
Utillaje para la extracción industrializada del marés: palanca, pinzas para el izado de piezas, sierra de disco manual, disco de corte para la sierra y eje para la máquina de la sierra de disco.

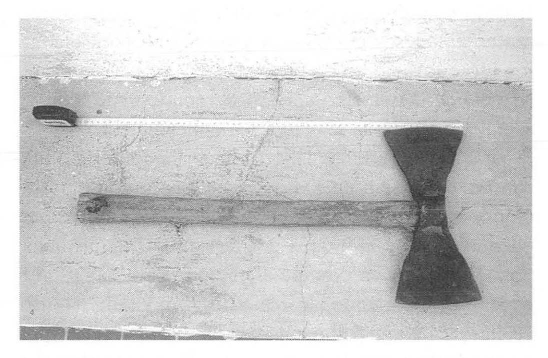


Figura 6
Tallant (trinchante): Herramienta tradicional el acabado manual del bloque de marés.

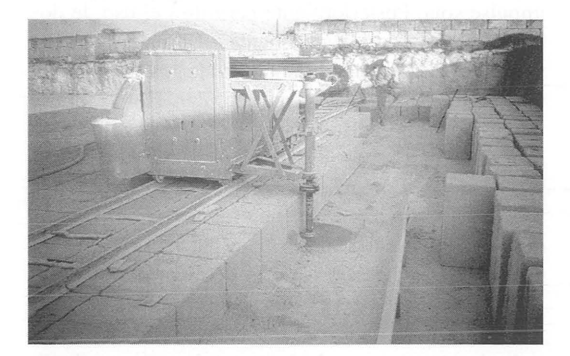


Figura 3
Máquina con sierra de disco. Se ha colocado el disco para separar los bloques por la base de la hilada.

un bloque de marés, ahora significa la eliminación de una hilada completa de piezas, para permitir el recorrido continuo del disco de la sierra en posición horizontal y situado de forma que realice un corte continuo en la base de las piezas que quedarán, de este modo, separadas de la cantera. La sierra de disco, montada sobre una cinta transportadora se empleará, una vez extraída la pieza, para trocearla y regularizarla o escuadrarla, en función de las necesidades.

La máquina de corte con sierra de discos es el procedimiento que se emplea hoy en las canteras que se mantienen activas. Exige la absoluta planeidad y horizontalidad de la superficie del lecho de cantera, sobre el que se colocan dos raíles paralelos por los que se desplaza. Este requisito es fundamental para que sea posible y rentable el uso de las má-

quinas, que precisa, también, de superficies amplias. Como consecuencia, el espacio que produce la explotación moderna es asombrosamente cartesiano: recto, liso y escuadrado, frente a las canteras hermosamente esculpidas resultantes de la extracción tradicional.

Con respecto a la explotación tradicional del marés, este sistema conlleva el inconveniente de que es difícil esquivar, como se hacía en la extracción manual, las zonas en que el material presenta una calidad deficiente, hasta el punto de que no aconseje su extracción y comercialización y, generalmente se hace preciso proseguir la explotación hasta alcanzar material de mejor calidad.

Por otra parte, cuando los estratos naturales no son perfectamente horizontales, no se mantienen en paralelo con las direcciones de extracción y por lo tanto con los planos de corte, lo que puede perjudicar el comportamiento de la pieza puesta en obra. El cantero que extraía manualmente el material lo hacía siempre siguiendo la dirección de los lechos de sedimentación, por lo que siempre resultaban paralelos a dos de las caras de las piezas.

Además, al ejercer diferentes acciones mecánicas en el corte y separación de la pieza, cabe la posibilidad de que la extracción mecanizada, por ser menos agresiva que la manual, permita el acceso al mercado de material de poca calidad resistente, que no hubiera podido obtenerse con las técnicas tradicionales, con las que se habría destrozado o hubiese sido desechado por «flojo».

Comprobamos, pues, que la explotación del marés ha evolucionado, paulatinamente en el tiempo, desde el trabajo manual de antaño hasta la extracción actual, prácticamente automatizada, desplazando progresivamente la técnica e intuición desarrolladas por los canteros para adaptarse a la dureza de la piedra.

A este atento diálogo del hombre con el material, en esta forma de extracción, que progresaba «escuchando la piedra», la evolución, en su desarrollo, ha aportado el sonido y la vibración de la nueva herramienta: la impasible monotonía de la máquina.

Notas

1. Las canteras subterráneas son un modo peculiar de explotación del marés. Resultan de la puesta en práctica de dos propósitos claros: evitar el desmonte del terreno superficial, imprescindible en toda la extensión que corresponde al volumen del material explotable, y preservar el terreno cultivable permitiendo mantener el cultivo que en él se produce, sin que surja la disyuntiva entre permitir la obtención del pétreo y proseguir el cultivo de la tierra.
2. Inyesta, N. y Sunyer, G.: *Construir en marés*. Ed. Colegio Oficial de Arquitectos de Baleares. Palma de Mallorca, 1997, p. 73.
3. Juaneda Mascaró, J.: *Análisis sobre la vivienda urbana menorquina*. Trabajo final de Carrera. E.U.A.T., Universidad Politécnica de Valencia. Enero de 1995, cap. 5, p. 33.
4. *Ut supra*, pp. 36-37.

Bibliografía

Florit Nin, F. y Sauleau Lara, L.: *Pedreres de marés*. Ed. Líthica y Sa Nostra, Caixa de Baleares, 1995.

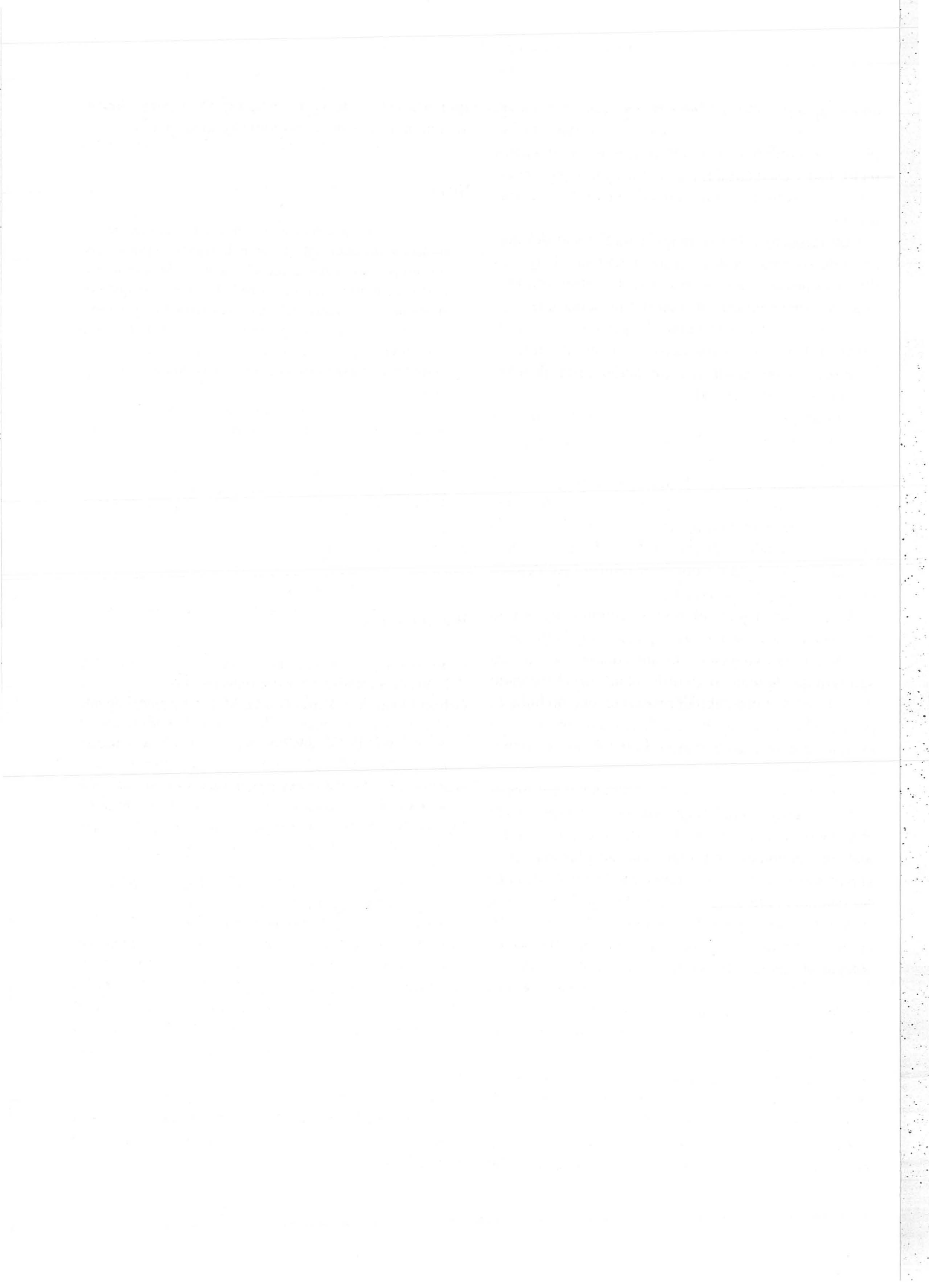
Galvañ Llopis, V. y Ferrer Gracia, M. J.: «La piedra de marés, un material humano». *RE, Revista de Edificación*, nº 26, Ed. S.P. Universidad de Navarra, E.T.S.A. Pamplona, Octubre 1997, pp. 54-57.

González, M. A.: «El marés y su mundo». *Diario de Ibiza*. Sección: Memoria de la Isla. 5 de septiembre de 1999.

Inyesta, N. y Sunyer, G.: *Construir en marés*. Ed. Colegio Oficial de Arquitectos de Baleares. Palma de Mallorca, 1997.

Juaneda Mascaró, J.: *Análisis sobre la vivienda urbana menorquina*. Trabajo final de Carrera. E.U.A.T., Universidad Politécnica de Valencia. Enero de 1995.

Millet, E.: «la isla de las canteras». *Dominical Magazine*. 16 de marzo de 1997.



La construcción de la vivienda tradicional en el Paraguay. La técnica del estaqueo

Santos García Álvarez

La teoría de la Arquitectura es el conocimiento que de ella se puede adquirir por el estudio de los libros, por los viajes o por la meditación; la práctica es el conocimiento que se adquiere con la ejecución y conducta de las obras. Estas dos partes son de tal modo necesarias, que los arquitectos que intentaron llegar a la inteligencia de su arte con sólo el ejercicio, por mucha que fuese su fatiga, jamás hicieron gran progreso, ni tampoco lo lograron los que con sólo el estudio de los libros y la meditación pensaron conseguirlo.

VITRUBIO. *Los Diez Libros de la Arquitectura*

Esta comunicación surge como consecuencia del trabajo realizado durante el disfrute de una beca *Intercampus* en la Universidad Nacional de Asunción (Paraguay). No se trata únicamente de un proceso de investigación bibliográfica, sino también es fruto de un trabajo de campo y de recogida de datos de índole práctica llevada a cabo durante los meses de agosto y septiembre de 1999.

Para realizar sus construcciones, el hombre ha utilizado siempre como fuente primaría de materiales el entorno que lo rodeaba y lo ha transformado según sus necesidades, aunque, naturalmente, según los medios que disponía para ello. Este es el caso del barro, material de construcción que cuenta con más de seis mil años de tradición constructiva.

En el ámbito particular del Paraguay, cerca del 40% de las viviendas construidas, son levantadas mediante la técnica tradicional del estaqueo objeto de descripción de este trabajo.

CONSTRUCCIÓN CON BARRO. LA TÉCNICA TRADICIONAL DEL ESTAQUEO O PARED FRANCESA

A pesar de lo que esta segunda acepción nos pueda sugerir, la técnica del estaqueo no es de importación europea, si bien técnicas similares fueron utilizadas en regiones de los Alpes, en la septentrional Escocia, o en las remotas tierras danesas. Ni siquiera son producto del mestizaje de técnicas constructivas traídas por los españoles a estas zonas; más bien, se cree que son el resultado de largos años de experimentación y estudio de los materiales que el medio de la región ofrecía, aplicados sabiamente a fin de conseguir una vivienda y proteger a sus moradores de las inclemencias del medio ambiente.

Las paredes de estaqueo tienen dos componentes: el entramado y el barro. El entramado se realiza con ramas y troncos de árboles y arbustos dispuestos en dos direcciones, vertical y horizontal; a continuación, el entramado es cubierto por ambas caras de barro, al que se le pueden agregar diferentes aditivos con el fin de estabilizar la mezcla prolongando su durabilidad.

Semejante técnica, que en otros lugares de América Latina recibe el nombre de *bajareque*, *embarre* o *quincha*, en Paraguay toma el nombre de *estaqueo* o *pared francesa*.

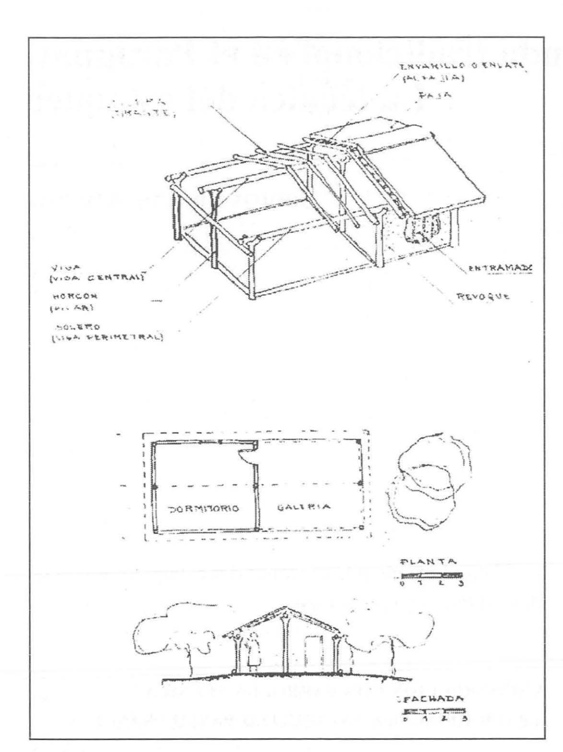


Figura 1

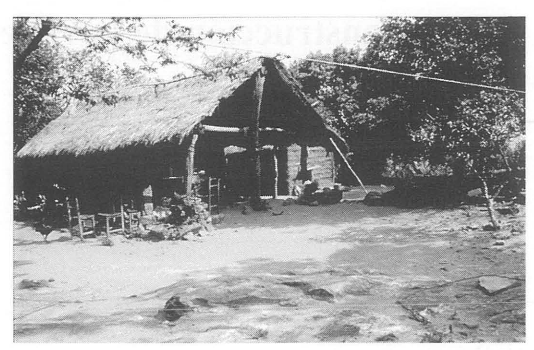


Figura 2

Descripción del proceso constructivo

La construcción de la vivienda constituye un evento de participación colectiva; el acopio de materiales, el corte de la madera, y el amasado del barro son actividades llevadas a cabo bajo el común denominador del esfuerzo colectivo.

Elegido el lugar para la construcción de la vivienda, generalmente una planicie no falta de alguna especie arbórea en las proximidades que permita dar cobijo a sus moradores, al amparo de la sombra producida por su follaje durante las cálidas horas diurnas, se iniciará la construcción de la estructura portante constituida por unos postes de madera llamados *horcones* debido a su remate en forma de horquilla, y que tendrán la misión de soportar el travesaño de remate de la cumbrera de la vivienda. Acto seguido, se colocan los llamados *parales*, que no son sino un conjunto de estacas verticales que servirán de refuerzo a los horcones en su misión de sostener el peso de la cubierta y además servirán de base al entramado de caña o palma que será el núcleo de las paredes. En la mayoría de los casos la palma llega directamente a asentarse en el terreno y la resolución de los distintos nudos se resuelve con amares de cuerda o alambre.

La apertura de huecos se resuelve fijando a los *parales* unas vigas perimetrales llamadas *cruceros*, y a las cuales se fijará las piezas que constituyan el marco de la estructura de la puerta o ventana.

La estructura se rellena de tierra y piedras, y finalmente se revoca con barro amasado con los pies buscando una perfecta homogeneización de la mezcla. Es usual la utilización de aditivos naturales, como cenizas o excrementos animales para evitar grietas producidas por procesos de retracción del barro, o también la incorporación durante el amasado de jugo de tuna para mejorar la impermeabilidad del paramento.

El revoco se ejecuta en franjas horizontales comenzando por la cara interior del paramento que por razones obvias necesitaran de un periodo más largo

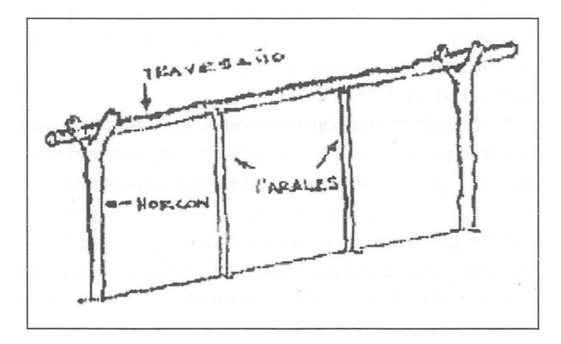


Figura 3

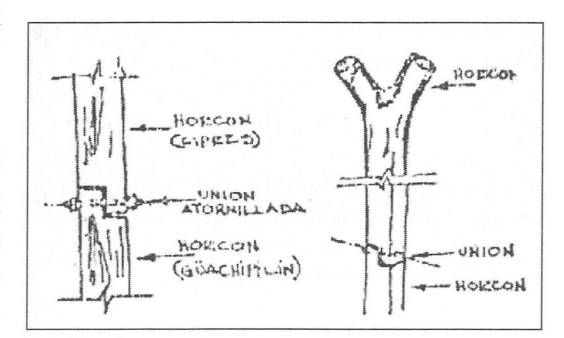


Figura 4

de secado. En algunos casos, el revoco se pinta con una tierra local denominada *tapytaquyryu,* que no es sino una arcilla caolinítica disuelta en agua a modo de lechada, lo que da un acabado al cerramiento de color blanco o amarillento modificando su comportamiento frente a la absorción de rayos solares. Es muy aconsejable el humedecimiento previo de la estructura de madera para evitar posibles problemas de adherencia entre el material estructural y el posterior revoco de barro.

Una cubierta a dos aguas será el elemento constructivo que garantice la estanqueidad de los espacios internos. Esta cubierta se construye de paja y barro sobre un sistema de pares o tijeras de madera, que con su generoso vuelo darán la protección necesaria a las paredes de barro y entramado.

El principal problema que presentan las construcciones realizadas mediante la técnica del estaqueo es la erosión producida por el agua de lluvia en la pared francesa, que poco a poco, si no se tomen las pertinentes precauciones acaba por arruinar de manera irreversible la construcción. Para evitar que la lluvia erosione las paredes de barro es necesario protegerlas, ya sea mediante un buen diseño de zócalos y aleros o mediante la aplicación de pinturas impermeabilizantes. En los últimos años se estudiaron diferentes aditivos que añadidos al barro mejoran sustancialmente el comportamiento de este frente a la erosión producida por el agua.

Existen también otros problemas propios de este tipo de construcciones como son la inevitable retracción que se produce por el secado del barro húmedo. El problema se palia en gran medida mediante la adición de fibras de cualquier tipo que mejoran notablemente la resistencia a tracción del material reduciendo la fisuración producida por la retracción. Entre otras se usan la paja, la cáscara de arroz y los excrementos animales de vaca y caballo.

En defensa de la construcción tradicional. Conclusiones

En los momentos presentes, más del 30% de la humanidad aún sigue viviendo en casas construidas con ladrillos secados al sol. De esta proporción el 10% lo hace en América Latina. Ello constituye una realidad que justifica sobradamente el interés que presenta el barro y sus derivados cuando se trata de considerar en unos casos, o reconsiderar en otros, la utilización estudiada y la puesta al día de las técnicas de aplicación.

A través de diversos programas de investigación, con la colaboración de diferentes organismos y gracias al esfuerzo de un grupo de expertos se han llevado a cabo diferentes estudios tendentes a mejorar la

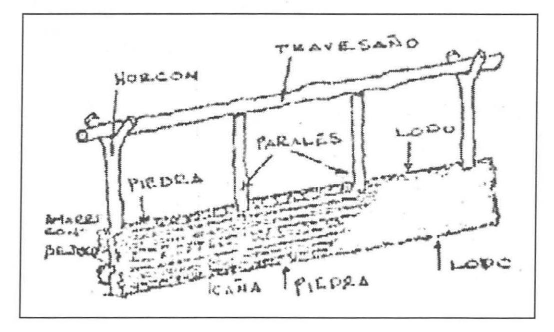


Figura 5

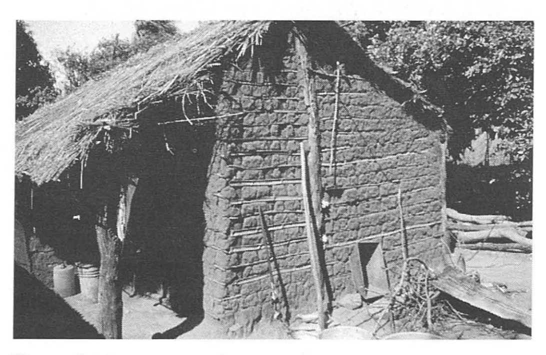


Figura 6

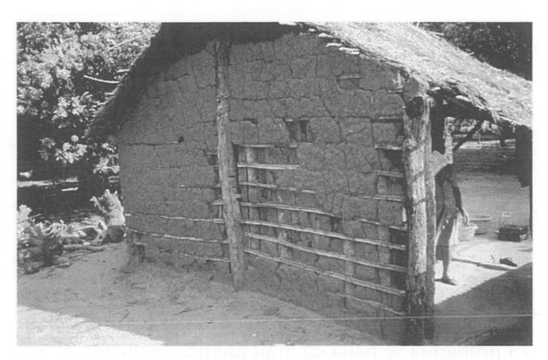


Figura 7

técnica constructiva del estaqueo mediante la adición de diferentes sustancias que incrementan la baja resistencia del material barro frente a la humedad y la lluvia.

En menor medida, no sería difícil ampliar estos estudios hacia campos como la investigación en viviendas de bajo coste, y descubrir las excelentes cualidades del barro como materia prima en una arquitectura no contaminante, de bajo consumo energético y muy viable económicamente. De esta manera el trabajo sobre cuestiones de actualidad relacionadas con la arquitectura del barro en Paraguay que ayuden a difundir y a analizar las técnicas constructivas vigentes en Europa y América Latina, y que sirvan como aprendizaje de final del siglo XX para hacer una mejor arquitectura del siglo XXI.

Nota

El presente trabajo esta dedicado a D. Silvio Ríos y D. René Canese profesores ambos de la Universidad Nacional de Asunción (Paraguay), por el interés demostrado y por su inestimable ayuda.

Bibliografía

Agarwal, Anil.: *¡Barro barro!* Erthscan,1981.

Cytrin, S.: *Construcción con tierra.* Méjico, 1965.

Doay P. y otros. CRAterre: *Construir con tierra.* Fondo Rotatorio Editorial, 1990.

Maldonado, L.; Vela Cossio, F.: *Curso de construcción con tierra.* 2 vols. Instituto Juan de Herrera de la E.T.S.A.M. Madrid, 1999.

Ríos, L. S. et alt.: «Análisis de la vivienda rural en el Paraguay.» *Boletín nº 11 Centro de tecnología apropiada.* Universidad Católica de Asunción, 1987.

Ríos L. S. y Zacarías N.: «Técnica del estaqueo: análisis de alternativas y mejoramiento.» *Boletín nº 12 Centro de Tecnología apropiada.* Universidad Católica de Asunción, 1990.

VV.AA: *Arquitectura de tierra.* Encuentros internacionales. Centro de Investigación de Navapalos. Ministerio de Fomento, 1999.

Las cuevas de Crevillent (Alicante). Estudio y catálogo gráfico

José Antonio García Aznar
Joaquín Antonio López Davó
Jaime Ferri Cortés
Vicente Raúl Pérez Sánchez
Juan Carlos Pérez Sánchez
Antonio Jiménez Delgado
Leoncio Rodríguez Valenzuela

La arquitectura subterránea forma parte del patrimonio arquitectónico de buena parte del territorio nacional, aunque se le ha relegado a un segundo plano en favor del patrimonio edificado. Sin embargo, la importancia que posee este tipo de arquitectura la hace merecedora de ser estudiada a fondo, sobre todo por la trascendencia cultural y social que ha poseído y que posee.

La vivienda subterránea podemos incluirla dentro de la arquitectura natural o rupestre, entendiéndose como tal aquella arquitectura que la propia naturaleza o la acción del hombre ha conformado en el terreno.

En épocas históricas anteriores, como el Paleolítico, la cueva natural o caverna era utilizada como refugio o lugar de reunión por una sociedad que inteligentemente todavía no estaba desarrollada. Pero al alcanzar el hombre un grado más elevado de civilización (alrededor de 5.000 años antes de nuestra era), comienza a construir cuevas artificiales, primeramente excavadas en la tierra y posteriormente en la piedra.

Las cuevas excavadas por el hombre son posibles en terrenos constituidos por materiales desmenuzables y fáciles de tallar, secos y muy impermeables, siendo depósitos de rocas sedimentarias en la mayoría de los casos. La situación de las cuevas no está ligada a unos tipos concretos de materiales; están directamente relacionadas con el clima y las condiciones socioeconómicas.

Se presentan en las zonas con clima árido y cálido donde la vegetación es escasa e igualmente en las regiones con bruscas variaciones de temperatura, de forma que la vivienda subterránea protege tanto del exceso de calor y frío como de los fuertes vientos.Existe un gran número de países a lo largo del mundo donde se localizan este tipo de viviendas, pero esta arquitectura alcanza su máxima representatividad y desarrollo en los países del área mediterránea.

Las cuevas en España

Se puede considerar que España es el país más rico en viviendas trogloditas de entre los que integran el ámbito mediterráneo. Las cuevas se extendían, y aún hoy se extienden, por todas aquellas zonas geográficas donde las temperaturas son extremas, las precipitaciones son bajas y en las cuales los materiales sedimentarios posibilitan la excavación. A todo esto, debemos añadir la pobreza que ha afectado a grandes sectores de la población española.

Existen dos zonas trogloditas por excelencia, Levante y Andalucía oriental, las cuales pudieron actuar como focos irradiadores de la cultura troglodita en España. No obstante, hace siglos se podían encontrar cuevas en Castilla y León, y más recientemente en Navarra, así como en áreas próximas a las anteriormente citadas.

Cabe destacar las viviendas trogloditas del valle del Ebro, y especialmente las de la provincia de Zaragoza, donde existían numerosas barriadas de cue-

vas en las vertientes de los afluentes del Ebro, aunque hoy en día la mayoría han sido abandonadas y el resto convertidas en bodegas.

Merece especial mención el sureste peninsular (Andalucía oriental, Murcia y la Comunidad Valenciana), ya que en ellas se concentran la mayor parte de las cuevas-vivienda habitadas en España. Entre ellas, Granada constituye la provincia con mayor importancia troglodita, destacando los municipios de Baza y Guadix, que presentan numerosos núcleos y barrios relevantes de cuevas. En la Comunidad Valenciana, un total de 78 pueblos poseen cuevas de diversas tipologías, entre los cuales destacan los asentamientos trogloditas de Paterna, Bétera, Rojales y Crevillent (figuras 1 y 2).

Las numerosas ventajas constructivas y bioclimáticas de las viviendas trogloditas avalan la bondad de estas soluciones arquitectónicas. Además, la belleza, funcionalidad y originalidad de los hábitats excavados merecen una atención que nunca hasta ahora les había sido prestada.

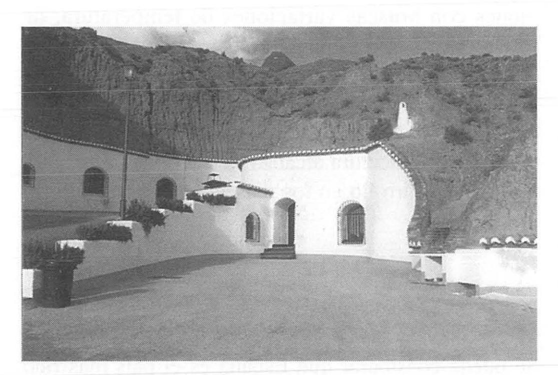


Figura 1
Cuevas de Guadix (Granada)



Figura 2
Cueva del tipo «clot» en Paterna (Valencia)

Las cuevas de Crevillent

Crevillent está situado dentro de la comarca del Baix Vinalopó, al sur de la Comunidad Valenciana. La ciudad, asentada al pie de la sierra, se encuentra en contacto con numerosos barrancos de no muy profundo cauce y estrecho interfluvio, y con laderas suaves cuando la altura de las crestas que los separan es mayor. Estas crestas, o a veces pequeños montículos, están constituidas por margas, areniscas y conglomerados. Estos materiales son los más aptos para excavar en ellos este tipo de vivienda: son impermeables, aislantes de la humedad, blandos al pico, con la propiedad de endurecerse por la acción atmosférica, y reguladores de la temperatura exterior.

La evolución urbana de la ciudad se estabiliza en el siglo XVIII, donde empieza una nueva vida, con expansión creciente, aunque limitada por sus escasos recursos agrarios y el carácter secundario de su industria esterera respecto a la agricultura.

Aunque las cuevas excavadas puedan tener una posible relación con las cuevas neolíticas, el trogloditismo *actual* arranca del siglo XVIII y sobre todo es un fenómeno que alcanza al XIX y a la primera mitad del XX, iniciándose su declive a partir de 1950.

El origen de este tipo de vivienda en Crevillent, se debe fundamentalmente a tres factores: gran presión demográfica, pobreza de los medios de subsistencia y unas condiciones geográficas favorables para su excavación, influyendo sin duda también la generalización de este tipo de vivienda en el este y sudeste español.

Actualmente, el número de cuevas está disminuyendo, ya que en 1967 se llevó a cabo una política de supresión y limitativa de las reformas en las mismas; con la aprobación del Plan General de Ordenación Urbana, se prohibía de forma oficial la excavación o ampliación de nuevas cuevas.

La disposición del suelo es el factor que determina la orientación de la cueva. La ejecución de la misma no parte del hecho de tener preconcebido el

tipo y distribución que se ha de realizar antes de su excavación, sino que es el resultado de la excavación que el suelo ha permitido trazar al *Maestro de Pico*, y se obtendrá como resultado una cueva, la cual que catalogar de forma general dentro de una tipología.

Ésto, unido al hecho de la posterior ejecución de construcciones anexas en algunas viviendas subterráneas, nos permite clasificarlas en cuatro tipos fundamentalmente: *cueva*, *casa-cueva*, *cueva-patio delantero* y *cueva-patio interior*.

Tipologías. Criterios de agrupación

Aunque la mayoría de cuevas presentan variantes particulares, tras la labor de campo realizada, hemos conseguido definir cuatro tipos generales de vivienda troglodita:

Cueva

Este tipo puede presentar dos casos principalmente: la vivienda totalmente excavada, que presenta en su fachada pocos huecos y que no tiene ningún añadido de obra nueva en su parte delantera, y, en segundoo lugar, la que ofrece en su exterior un añadido de obra, al cual no se puede acceder desde el interior de la cueva, es decir, es una construcción anexa con acceso desde el exterior siendo totalmente independiente de la cueva (figuras 4 y 5).

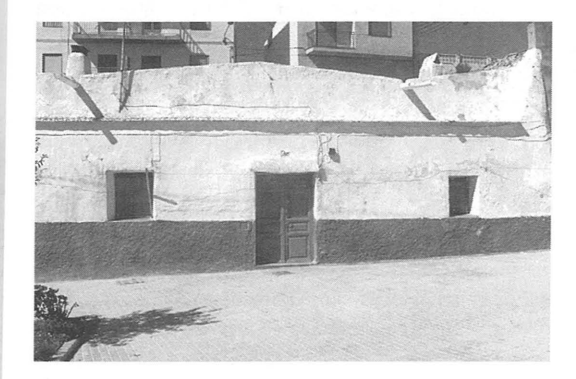


Figura 3
Fachada de la tipología *cueva*

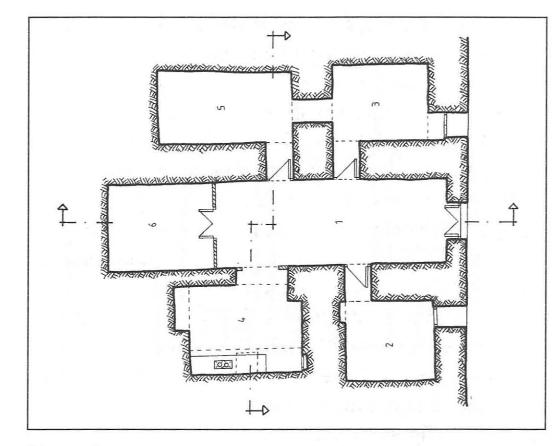


Figura 4
Planta de la tipología *cueva*

Casa-cueva

Es la que ofrece en su exterior un añadido de obra, al cual se accede desde el interior de la cueva, pudiéndolo hacer en algunas ocasiones también desde el exterior. Esta construcción forma parte complementaria de la cueva-vivienda (figuras 5 y 6).

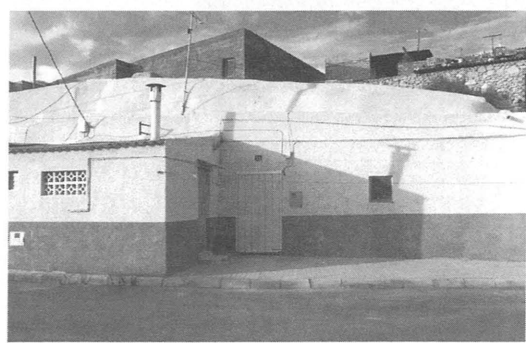


Figura 5
Fachada de la tipología *casa-cueva*

Cueva-patio delantero

Es aquella que presenta un patio delantero acotado que determina un espacio exterior privado. Principalmente, existem dos variantes, con o sin construcción anexa (figuras 7 y 8).

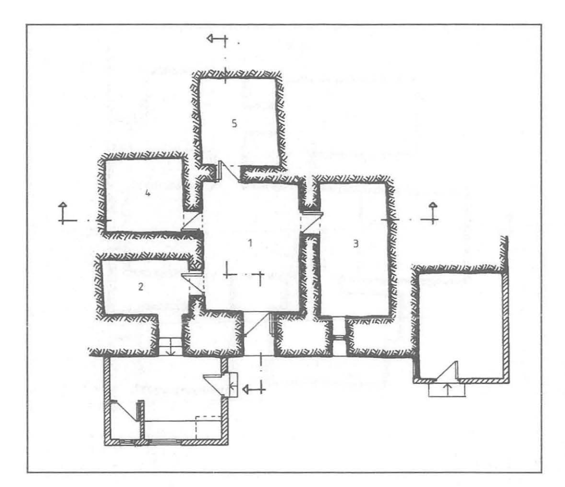


Figura 6
Planta de la tipología *casa-cueva*

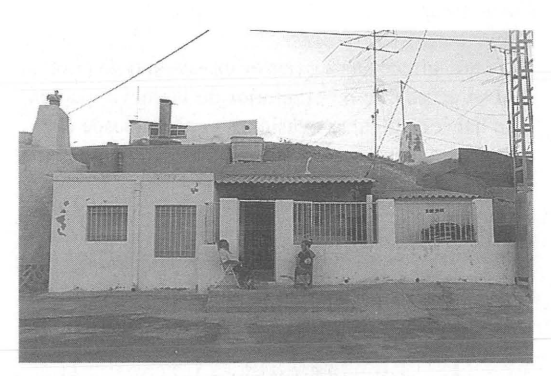


Figura 7
Fachada de la tipología cueva-*patio delantero*

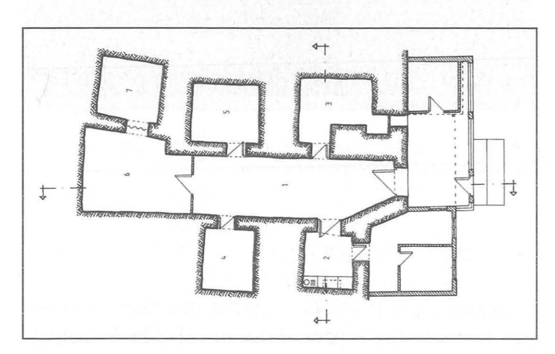


Figura 8
Planta de la tipología *cueva*-patio *delantero*

Cueva-patio interior

Es la que posee un patio interior excavado, localizado normalmente al fondo de la cueva-vivienda (figuras 9 y 10). Este tipo incluye las siguientes variantes: con o sin patio delantero y con o sin construcción anexa.



Figura 9
Fachada de la tipología *cueva-patio interior*

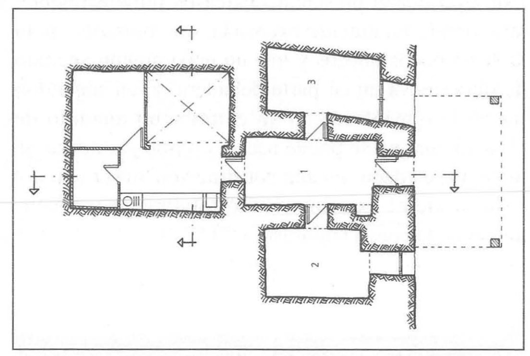


Figura 10
Planta de la tipología *cueva-patio interior*

Técnica de construcción

La técnica de construcción de la cueva es sumamente elemental. Aunque existía mano de obra especializada, en muchas ocasiones, la misma persona que después iba a ocupar la cueva realizaba el trabajo, si no de forma total, sí al menos ayudando en gran parte durante el proceso de excavación y adaptación del hueco excavado como vivienda. Pero la técnica tradi-

cional en la excavación de una cueva era identificar una capa blanda (arenisca o calizas detríticas) entre dos duras (como es la caliza).

Por otro lado, la maquinaria que el constructor utilizaba para excavar la cueva se reducía al empleo de un pico y una pala cuando los materiales eran blandos y cedían; sin embargo, en el caso de que apareciese alguna veta de un material duro, como la caliza, era necesario la utilización de un puntero. Si por el contrario ésto fuese inútil, se optaba por ahondar el suelo en las habitaciones donde estuviese esa veta, formando una escalera de más o menos escalones. También podía ocurrir lo contrario, es decir, que este estrato duro lo encontraran en la parte baja y hubiera que subir la excavación.

En primer lugar, se excavaba en la pendiente hasta conseguir una pared casi vertical que sirviera de fachada a la cueva. Delante de ella, el terreno se aplanaba hasta formar una especie de plazoleta que haría las veces de patio de la vivienda o zona de acceso a ella.

Con el fin de conseguir mayor firmeza en la excavación interior de la cueva, la estructura que la sostiene se consigue con techos en forma de arco de medio punto o de bóveda, en vez de techos planos. Este tipo de estructura está determinada por muros gruesos y espacios entre los muros, dependientes de la altura de la bóveda (figuras 11 y 12)

En los casos en los que la fachada estaba compuesta por los propios materiales del terreno, se aplicaba un tratamiento superficial que consistía en darle una mano con agua con cal directamente sobre el terreno (muy rebajada), y posteriormente una más es-

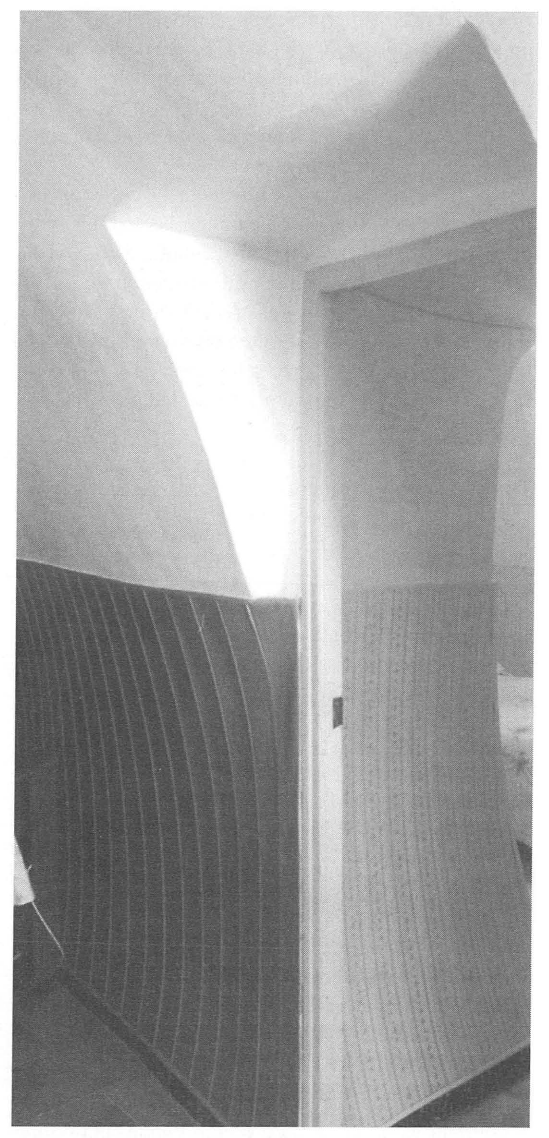


Figura 12
Encuentro entre la bóveda central y el paso a una habitación



Figura 11
Fachada ligeramente ataluzada de las cuevas

pesa, también con cal, pero esta vez mezclada con aceite. Este tratamiento confería un cierto grado de impermeabilidad a la fachada.

El acabado interior de la cueva se realizaba fundamentalmente a base de cal. La utilización de este encalado supone una doble ventaja: la cal proporciona, debido a su blancura, una iluminación interior supe-

rior, y además, el periódico encalado actuaba a modo de desinfectante de la vivienda. Es frecuente que las paredes y el techo de las habitaciones conserven las protuberancias del terreno, aunque cada vez es más frecuente encontrar habitaciones enlucidas y después encaladas, totalmente lisas y uniformes.

Un grave problema que presenta la vivienda troglodita es la falta de ventilación en las habitaciones, principalmente en las interiores, aunque éste se reduce considerablemente en las que disponen de un patio interior, es decir, las del tipo cueva-patio interior, porque precisamente este elemento es el que exista cierta circulación de aire, renovando el ambiente y regulando la temperatura interior de la cueva.

Descripción morfológica

Construcciones anexas

Se trata de cuevas excavadas a las que se ha adosado una construcción realizada con materiales más recientes, normalmente con acceso a la misma desde el exterior, pudiéndolo hacer también desde el interior de la cueva. En este último caso nos referimos al tipo *casa-cueva*.

De esta forma, se consigue trasladar las zonas húmedas al exterior de la cueva. Este cambio viene marcado por el principio bastante racional de suprimir los humos y olores en una vivienda donde la ventilación e iluminación es en muchas ocasiones deficiente. Estas construcciones son posteriores a la excavación de las cuevas, realizadas la mayoría durante los años cuarenta y cincuenta, durante y después de la posguerra.

Techos

El techo de todas las habitaciones de las cuevas de Crevillent es de bóveda de medio cañón, más o menos pronunciado según las dimensiones que cubre. Arranca suavemente desde una altura media de 1,50 metros o desde el mismo suelo, lo que da a las paredes una ligera curvatura.

Paredes y suelos

El revestimiento actual del paramento interior de la mayoría de las cuevas está formado por un enlucido o guarnecido de yeso, y algunos están pintados con gotelé, estando en desuso el original acabado de cal.

El pavimento suele ser de baldosas hidráulicas, losetas o mosaicos,... e incluso gres cerámico o terrazo, colocado normalmente sobre el terreno o sobre el pavimento original. Sin embargo, aún quedan cuevas cuyos suelos son de mortero de cemento fratasado, y en ocasiones se trata de suelos abrillantados con aceite.

Instalaciones

Sobre las paredes y bajo el techo, se sitúan una serie de cables correspondientes a los diferentes circuitos eléctricos. Naturalmente en este tipo de construcción en su forma tradicional, resultaba imposible ocultar la instalación eléctrica. La instalación tiene un aspecto deficitario en numerosos casos.

En cuanto a las instalaciones de saneamiento, las cuevas que están habitadas disponen de ella tras la construcción del aseo, bien dentro del patio, o en una construcción anexa a la cueva. Antiguamente las conducciones de desagüe del aseo y cocina solían conducirse a un pozo ciego que se situaba delante de la vivienda. Actualmente, muchas cuevas, y prácticamente todas las del tipo *casa-cueva*, están conectadas a la red general de alcantarillado.

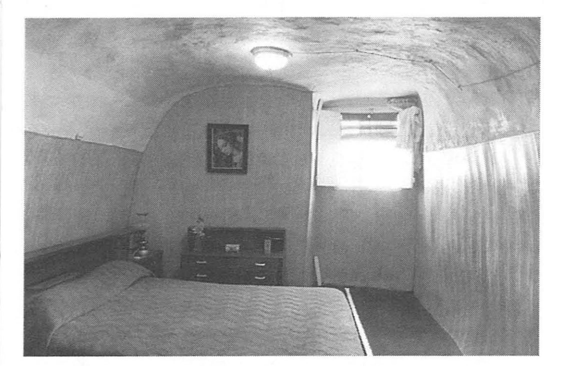
Estancias

La puerta de entrada de la cueva da paso a un espacioso estar-comedor de unos 8 a 10 m de longitud por unos 2 ó 2,50 m de anchura, aunque podemos encontrar fácilmente anchos de 3 m. La altura de los techos oscila entre 2,30 y 3 m.

La mayoría de las habitaciones están excavadas alrededor de esta estancia, con una superficie que ronda los 8 m^2, frecuentemente sobrepasados con holgura. Al fondo del estar-comedor suele haber una habitación llamada *habitación del frontón*, donde suele estar situada la lumbrera o el patio interior en el caso de existir (figuras 13 y 14).

En algún caso, junto a la habitación del frontón o coincidiendo con ésta, aparece una estancia en la cual predomina la profundidad respecto de la anchura, denominada *habitación hiladora*. Antiguamente se utilizaba para el hilado del cáñamo. Por otra parte,


Figura 13
Vista de un estar-comedor

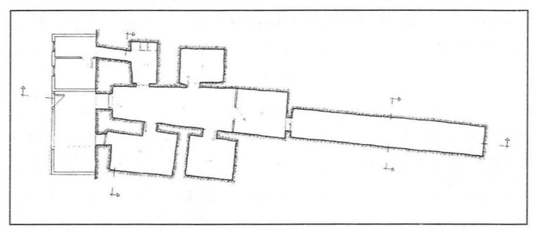

Figura 14
Vista de una habitación con ventana a fachada

al menos una de las dos primeras estancias que se abren a derecha o a izquierda desde el estar comedor, es un dormitorio con iluminación natural mediante una ventana a fachada.

Las habitaciones suelen ser relativamente grandes, oscilando su tamaño medio entre 7 y 12 m^2 de superficie, aunque se llegan a encontrar habitaciones de incluso 16 m^2. Por regla general, la altura de la habitación se sitúa casi siempre por encima de los 2 m, siendo la más frecuente que hemos encontrado de 2,30 m.

Antiguamente, las habitaciones estaban privatizadas por una simple cortina y la entrada de la cueva; raramente, estaba cerrada por una puerta, generalmente de madera. Ésto hacía que hubiese una constante renovación de aire en el interior de la estancia, consiguiendo a su vez que el terreno transpirase.

Junto a la puerta de entrada, con ventilación directa al exterior, se suele ubicar el aseo. La cocina suele situarse en una segunda línea. Siempre que es posible, estos dos servicios se trasladan a la parte exterior de la cueva, a dependencias exentas edificadas en el patio, si lo hay, o a un cobertizo minúsculo situado junto a la puerta (figura 15).


Figura 15
Planta de una cueva con *habitación hiladora*

Elementos singulares

La mayoría de las cuevas cuentan con chimenea, cuya altura oscila entre 1,5 y 1,8 m. Son de porte moderno, con forma de tronco de pirámide o de prisma cuadrangular y con el orificio, generalmente cubierto por dos o más tejas planas formando un ángulo diedro.

Actualmente, las chimeneas han perdido en parte su razón de ser al emplazarse la cocina fuera de la vivienda. Sin embargo, a pesar de que la cocina no estuviera en el interior ni se encendiera la chimenea, ésta todavía sigue jugando un papel importante, ya que permite una relativa aireación y ventilación de la estancia. Las chimeneas son de piedra o barro y las más modernas de ladrillo.

Si lo que se desea es que la chimenea sirva de elemento de ventilación, es aconsejable que se aumente el caudal de aire. Para ello, se procede al aumento del tiro, incorporando en la chimenea un tubo de fibrocemento, que hace que su altura sea mayor. Con esta modificación, se consigue el aumento de la funcionalidad de la chimenea, pero no hay que olvidar que su aspecto estético original ha sido desvirtuado.

La lumbrera, *llumbrera* o *tragaluz*, es un elemento del cual sólo una minoría de cuevas dispone. Tiene forma de paralelepípedo y se abre sobre la habitación más alejada de la puerta. Su altura suele ser de 1,5 m y dispone de una cubierta de teja plana a un

agua. Generalmente, en dos de sus lados tiene pequeñas ventanas, protegidas con tela metálica, que cumplen el fin de esta edificación complementaria: ayudar a la ventilación estableciendo con el acceso de entrada de la cueva una corriente que renueva el aire de la vivienda. Además, como ya se ha indicado, este elemento es el encargado de regular la temperatura y humedad del interior de la cueva (figuras 16 y 17).

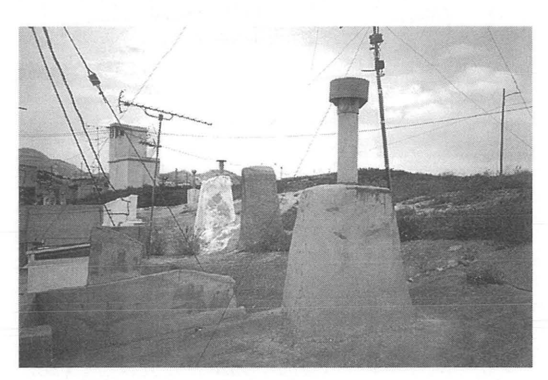


Figura 16
Chimeneas de varias cuevas de Crevillent

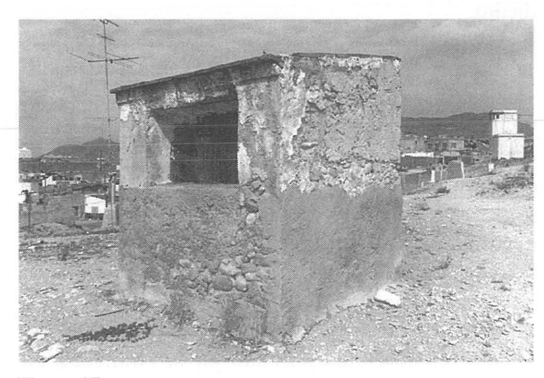


Figura 17
Lumbrera típica de Crevillent

Levantamiento gráfico

Uno de los fines principales de la presente investigación ha sido el efectuar el levantamiento gráfico de diversas cuevas de Crevillent. A continuación mostramos la planimetría completa de una de las cuevas vivienda de la localidad (figuras 18 a 24), de la que ofrecemos algunos datos generales.

Tipo: cueva.
Zona: Oeste.
Calle: Boquera del Calvario nº 65.
Tiempo: >100 años.
Estado de conservación: bueno.
Ocupación: medio año.
Estancias: estar-comedor (1), aseo (2), cocina (4), dormitorios (3 y 5), habitación del frontón (6). Carece de patio y de habitación hiladora.

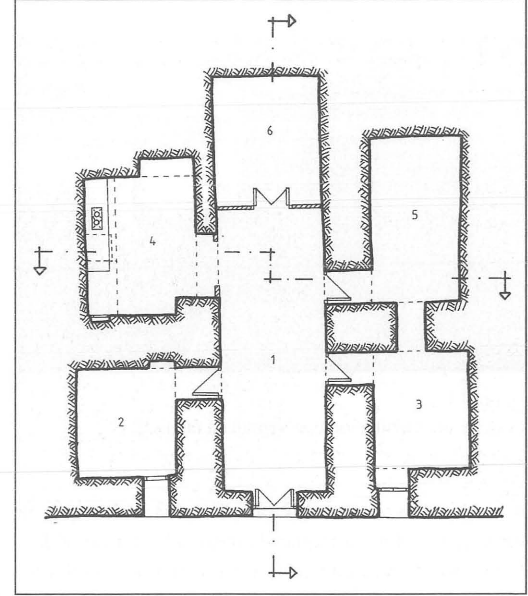


Figura 18

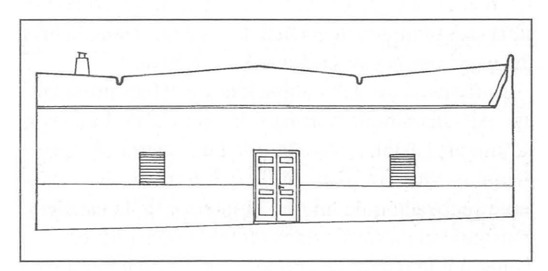


Figura 19

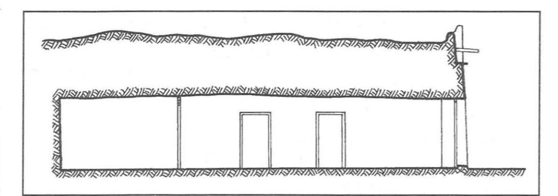


Figura 20

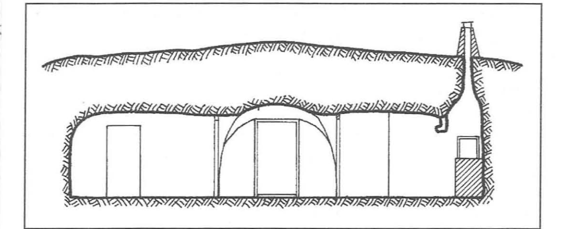


Figura 21

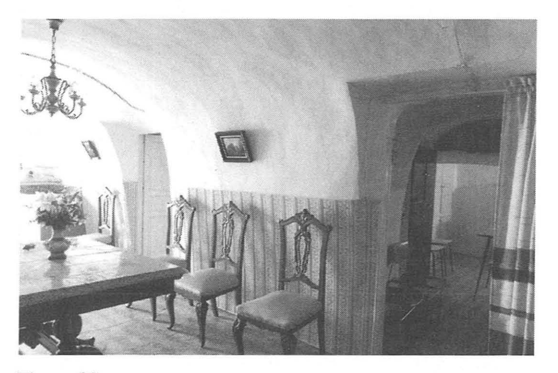


Figura 22
Vista del salón-comedor

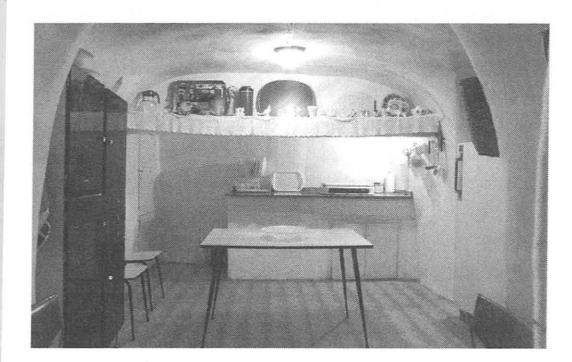


Figura 23
Vista de la cocina

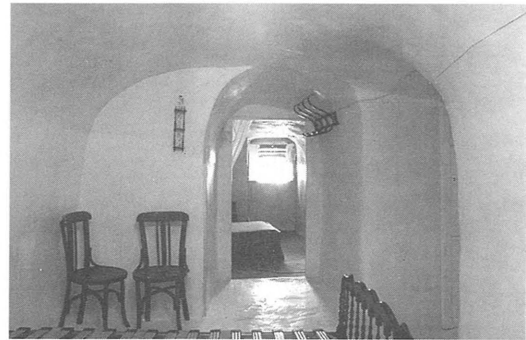


Figura 24
Paso entre habitaciones

Bibliografía

García Aznar, J.A.; López Davó, J.A.; Rubio Molina, J.A.: *Estudio Histórico-Constructivo y Levantamiento Gráfico de las Diferentes Tipologías de Vivienda Troglodita en Crevillente. 3er Premio Nacional Guillén de Rohan 1998.*

Aranda Navarro, F.: *La arquitectura de los sistemas pasivos de enterramiento en el levante español. Tesis doctoral inédita.* Valencia, 1986.

Flores, C.: *Arquitectura popular española.* Ed. Aguiar. Madrid, 1973.

Gozálvez Pérez, V.: *Crevillente: estudio urbano, demográfico e industrial.* Ayuntamiento de Crevillente. Crevillent, 1983.

Loubes, J. P.: *Tecnología y arquitectura. Arquitectura subterránea.* Ed. Ediciones Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1985.

Charneau, N., Trebbi, J.C.: *Maisons creusèes, maisons enterrèes. Découvrir, restaurer, réaliser un habitat troglodytique.* Ed. Editions Alternatives. Collection An Architecture. Paris, 1981.

Seijó Alonso, F. G.: *Arquitectura alicantina. La vivienda popular.* Ed. Biblioteca Alicantina. Alicante, 1973.

Seijó Alonso, F. G.: *La vivienda popular rural alicantina.* Ed. Ediciones Seijó. Alicante, 1979.

Urdiález Viedma, M.E.: *Cuevas de Andalucía, evolución, situación y análisis demográfico en la provincia de Granada.* Ed. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Granada, 1987.

Orígenes del arco de acodalamiento en la arquitectura romana

Jose Ignacio García Casas

El arco de acodalamiento constituye un elemento constructivo ya ensayado en la arquitectura romana con mucha antelación al empleo masivo que experimenta, siglos más tarde, en la entibación de edificaciones vecinas o en la descarga de bóvedas. La génesis de estos arcos y los primeros ejemplos históricos de su utilización se sitúan en Roma. Si bien es en el campo de la ingeniería civil, aplicado en la construcción de acueductos de doble arquería, donde se perfecciona el arco de acodalamiento, también se desarrolla para solventar problemas constructivos en las edificaciones. En este último campo se identifica con su variante más representativa: el arbotante.[1]

Pese a conocer todas las posibilidades de este elemento constructivo, la arquitectura romana no recurre habitualmente al arco de acodalamiento como sistema de desviación de cargas, restringiendo su empleo a soluciones muy específicas en donde su construcción no responde únicamente a este tipo de necesidades. Solamente en la construcción de acueductos se detecta un claro avance. Sin embargo la arquitectura romana desarrolla el arco como sistema estructural, mediante la aplicación fundamentalmente de dos tipos utilizados para desviar cargas verticales: el portante, caracterizado por su intradós hueco, y el de descarga, correspondiente al macizo en aligeramiento de fábricas.[2]

La técnica constructiva

Los avances de la arquitectura romana en la consecución de grandes espacios abovedados no se deben al empleo de arcos de acodalamiento sino a la construcción de sistemas estructurales murarios de fábrica aligerada por el empleo del *opus caementium*. La concentración de cargas en muros perpendiculares a la directriz de la bóveda se efectúa mediante la adopción de una traza de crucería, lo que a su vez permite la iluminación cenital y la ejecución sobre estos muros de otras bóvedas transversales o semicúpulas. De esta manera, las bóvedas transversales contrarrestan el empuje de la principal transmitiéndolo a su vez a los muros ortogonales que se constituyen así en un antecedente de los contrafuertes. El resultado es un espacio cubierto de inmensas proporciones, gracias a una estructura sustentada en menos puntos que las construcciones hipóstilas, más sólida frente al fuego pero más rígida frente a los movimientos sísmicos que las construcciones porticadas con estructura de cubierta en madera. Los arcos de acodalamiento adquieren el carácter de primitivos arbotantes cuando se derivan de la estilización de los arcos de descarga en los huecos de paso en los muros contrafuertes externos pero son rechazados en el interior de las naves abovedadas por constituir un elemento distorsionador del espacio arquitectónico. Sin embargo, en la elevación de plataformas sustentantes de edificaciones, el espacio inferior a ellas queda relegado a usos subordinados o a la carencia de los mismos por lo que el acodalamiento por arco de pilastras o muros se desarrolla sin plantear ningún conflicto en la composición arquitectónica.

EL CONTRARRESTO DE EMPUJES DE LAS BÓVEDAS DE ARISTA

La ejecución de bóvedas de cañón y arista, ampliamente desarrollada en la arquitectura romana, requiere un sistema estructural de descarga de sus empujes sobre los muros sustentantes y su transmisión al terreno. La evolución de los sistemas de descarga culmina en el medievo con la expresión más estilizada de transmisión de estos empujes: el arbotante y el botarel.

La ejecución de grandes muros para soportar las bóvedas continuas requieren huecos de paso para comunicar los espacios abovedados contiguos. El arco portante se emplea para abrir estos huecos de paso; y el de descarga para desviar el peso del muro elevado por encima de él. En el modelo desarrollado en las termas romanas y en la basílica de Magencio se prolongan los muros perpendiculares a la bóveda de crucería por encima del nivel de las cubiertas mediante cartabones con funciones de contrafuertes triangulares. Para comunicar las zonas en que ha quedado fragmentada la terraza por estos muros se abren en ellos unos huecos de paso bajo arcos de medio punto. Luis Moya atribuye a tales huecos la categoría de «incipientes arbotantes», lo que supondría reconocer el origen de los arcos de acodalamiento en esta representativa construcción de la técnica romana más avanzada.[3] Este sistema estructural se repite en diversos edificios romanos:

Termas de Caracalla (Caracalla 211-217 d.C. Construcción finalizada en el 216 d.C.)

La bóveda de aristas que cubre el »*frigidarium*» descarga sobre muros diafragma. Estos muros, que cumplen las funciones de contrafuertes, se elevan en el exterior por encima del nivel de las terrazas laterales y presentan una perforación, según se puede observar aún hoy en sus ruinas, que bien pudiera ser un hueco de paso entre cubiertas. En la reconstrucción propuesta por Blouet se verifica esta hipótesis.[4] El hueco de paso en el contrafuerte, siendo realmente pequeño en proporción con la masa del muro, constituye un primer antecedente en el aligeramiento de los elementos constructivos de contrarresto del empuje de la bóveda.

Termas de Diocleciano (Diocleciano 284— 305 d.C. Construcción 296-306 d.C.)

La coronación de los contrafuertes que contrarrestan el empuje de la bóveda del *frigidarium* al nivel de las terrazas se resuelve en su lado del *tepidarium* mediante cartabones con perforaciones similares a las ya descritas en las termas de Caracalla. Pero además en el lado que se abre a la piscina, a través del majestuoso *prospetto,* el peso de la bóveda del *frigidarium* se contrarresta con muros contrafuertes de sección rectangular trazados hasta encontrarse con cuatro torres elevadas por encima del nivel de las bóvedas. Según se puede apreciar en la reconstrucción planteada por Paulin[5] y la descripción apuntada por Rivoira,[6] las torres, si bien albergan las chimeneas de evacuación del humo de la combustión y las escaleras de acceso a cubierta, tienen una función fundamentalmente estática no diferente a la de los pináculos de refuerzo en los contrafuertes y botareles en la arquitectura medieval (figura 1).

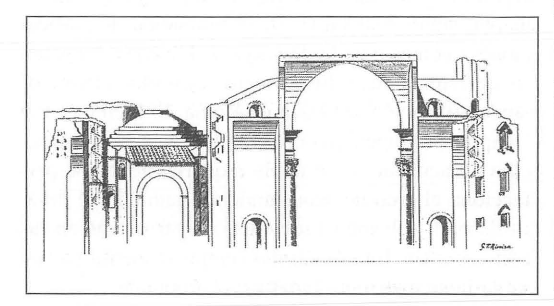


Figura 1
Sección de las Termas de Diocleciano según G. T. Rivoira.

Basílica de Magencio (Magencio 306-312 d.C. Constantino 306-337 d.C. Construcción 306 d.C.)

El edificio adopta el sistema estructural, ya ensayado en los *frigidaria* de las termas, de tres bóvedas de arista sobre muros diafragma. La coronación de los muros a la altura de terrazas se ejecuta mediante cartabones perforados por huecos de paso, de los que hoy aún se conservan los de su fachada norte. Los huecos adquieren mayor entidad que en las construcciones precedentes, constituyendo, según se puede apreciar en la reconstrucción propuesta por Gauthier,[7] un aligeramiento de la masa muraria claro precedente del arbotante (figura 2).

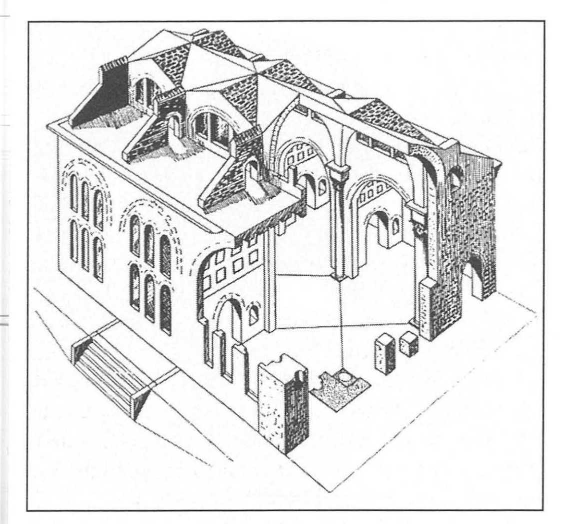


Figura 2
Basílica de Magencio (tomado de Rusforth, G.M.: «Architecture and Art», *The legacy of Rome*. Ed. Cyril Balley. Oxford, 1923).

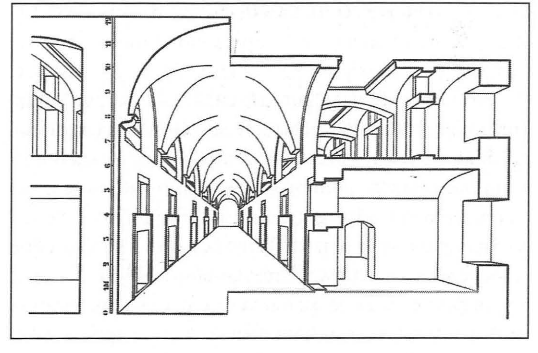


Figura 3
Mercado de Trajano (tomado de Macdonald, W. L.: *The Architecte of the Roman Empire*. Yale University, 1965, f. 93).

Mercados de Trajano (Trajano 98-117 d.C.)

Con una siglo de antelación a la construcción de las termas de Caracalla se realiza dentro de este monumental complejo comercial, y a una menor escala que la de los edificios anteriormente citados, un sistema de descarga de bóvedas mediante arcos exentos. En la zona alta de los mercados, que durante mucho tiempo se conoció como *Caserna de Goffredo Mameli*,[8] se levanta una nave abovedada a la que se abren por sus laterales dos plantas dedicadas a tiendas. Los arcos de acodalamiento, como elementos exentos, transmisores de empujes, se elevan sobre las galerías superiores de circulación y acceso a las tiendas de la segunda planta, descargando finalmente sobre los muros diafragma que sirven de cerramientos divisores. Este esquema estructural se asemeja de forma sorprendente al que siglos más tarde se experimenta en la construcción de los templos góticos de tres naves a diferente altura[9] (figura 3).

El refuerzo de construcciones preexistentes

El arco de acodalamiento se emplea también en Roma como solución de refuerzo de construcciones preexistentes. Evoluciona a partir del empleo de grandes y alargados sillares de piedra aplicados como codales exentos y se perfecciona mediante su transformación en arcos adintelados. En otros modelos, ejecutados fundamentalmente en fábrica de ladrillo, adopta la traza curva en la construcción de arcos de entibo.

El Coliseo de Roma

Conocido como el anfiteatro de la ciudad de los Flavios, su construcción se data entre los años 72 al 80 d. C. Iniciadas las obras bajo el mandato del emperador Vespasiano, se continuaron en el periodo de sus sucesores Tito y Domiciano. Entre los años 81 al 82 d.C. se ejecutaron las construcciones bajo la arena. Este complejo arquitectónico se asienta sobre una antigua laguna desecada, probable razón por la que se diseñó un sistema estructural sumamente estable a pesar de lo cual fue objeto de consecutivos refuerzos a lo largo de su historia. Casi todos los recursos constructivos que utiliza la arquitectura e ingeniería romana se encuentran aquí. Aparecen arcos rebajados, carpaneles en corredores y adintelados en los nichos de guarida para arqueros. No sólo se recurre a las impostas para apoyo de encofrados, sino también a ménsulas de sostén para andamiajes, de características similares a las existentes en las arquerías del Pont du Gard. En la arquería del segundo orden del tercer muro anular (a contar desde el exterior), se recurre a la superposición

de arcos para salvar su altura. Si en las ruinas heredadas el arco superior es preponderantemente de descarga, y por consiguiente debiera ser ciego, aparece sin embargo abierto bajo algunas de las caveas sin una razón funcional clara. Si se observa la sección original del anfiteatro se puede deducir que esta doble arquería responde a un problema compositivo de transición entre la bóveda del corredor exterior y la segunda cavea, que genera, de esta forma, un corredor bajo. Ignoramos si estos arcos superiores hoy abiertos responden a su concepción original o a una demolición del relleno de su hueco en fechas posteriores. La esbeltez de los machones de esta doble arquería, en proporción con los del resto del edificio nos inclina a considerar esos arcos no solo como la embocadura de los vomitorios de acceso a las caveas sino como primarios arcos de acodalamiento de los machones en los que se apoyan.

En los subterráneos centrales se descubre un conjunto de muros y corredores sobre los que se sostenía el entablado de la arena. Cuatro de estos corredores están atravesados por sucesivos arquillos rebajados. Cada dos arquillos delimitan una celda en los corredores. Estas celdas se cerraban para ubicar en su interior las fieras y gladiadores que, mediante un sistema de poleas, se elevaban hasta la arena en una especie de montacargas. Su ubicación actual responde a las restauraciones de los siglos V y VI. Se pueden identificar unos cipos en travertino sobre los hombros de estos arquillos para deslizar las cuerdas de elevación. Encontramos otros arquillos similares en el resto de los corredores a diferentes alturas sin ninguna otra función conocida hoy día que la de acodalar a media altura otros corredores o artilugios.

La altura de sus muros sobre los que se apoyaba la plataforma de espectáculos así como los elementos adosados de soporte de cuantos mecanismos y utillaje pudieran requerirse nos induce a pensar que la estructura sustentante de muros estaba arriostrada por estos arcos para garantizar su estabilidad en una función similar a la de los arcos de acodalamiento.[10]

Sobre uno de los corredores de salida del subterráneo del Coliseo, en el pasaje hacia la puerta Libitinaria del Coliseo, existen actualmente cuatro arcos adintelados de factura bastante tosca acodalando los cimientos de su perímetro. Perdura lo que pudiera constituir los estribos de al menos tres bajo el primer corredor interior y otros cuatro en el centro, pudiendo ser en origen su número total superior a siete (figura 4).

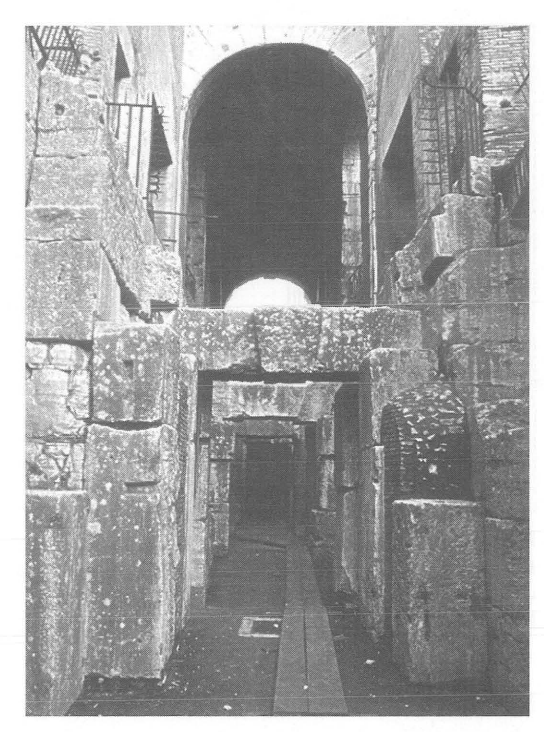


Figura 4
Acodalamiento de la puerta Libitinaria. Anfiteatro Flavio, Roma.

Las construcciones sobre las vías del Foro Romano

La repetida ampliación de las edificaciones en el Palatino dio lugar consecuentemente a la elevación de subestructuras sobre el recinto de los Foros. Estas construcciones tuvieron que resolver dos problemas. Por un lado, el contrarresto del empuje del terreno mediante muros transversales a la pendiente en verdadera función de contrafuertes. Por otro, la necesidad de perforar estos muros para respetar el trazado de las vías de acceso al Foro.

La ampliación de la *Domus Tiberiana* (14-37 d. C.) sobre el recinto de los Foros invade la *Clivus Victoriae* al cubrirla mediante una plataforma sustentada por bóvedas de cañón. Para respetar el recorrido original de esta vía de acceso al Foro Romano el plano de los muros se interrumpió en toda su vertical mediante su transformación en elevados machones acodalados por arcos a media altura.

En otra zona próxima, el empuje del terreno en el Monte Palatino, incrementado además por las sucesivas reformas, obligó a la construcción de seis dobles arquerías, en planos paralelos, sobre la *Vía Nova* para contrarrestar el empuje de la colina con los muros del Templo de las Vestales. En la actualidad se conservan los arcos inferiores de cada uno de estos seis planos verticales de acodalamiento.

Iglesia de los SS. Giovanni e Paolo al Celio

La parte más antigua es la constituida por la casa (s. III y IV) que perteneció a estos santos. Al inicio del s. V. Parmmachio elevó la actual iglesia sobre la primitiva casa cortando todas las divisiones de su plano superior.

Según Giovannoni,[11] la audaz elevación de la nave principal de la basílica y la trabazón inorgánica de construcciones viejas y nuevas debió producir perturbaciones estáticas pues necesitó refuerzos, concretamente apoyos sobre el lado más débil hacia la *Clivus Scauri,* lo que hoy constituye la actual vía de los SS. Giovanni e Paolo. Se reforzó la nave central mediante dos arcos fajones internos con continuidad al exterior por contrafuertes sobre la nave lateral y seis arcos de acodalamiento que cruzan la *Clivus Scauri* (figura 5).

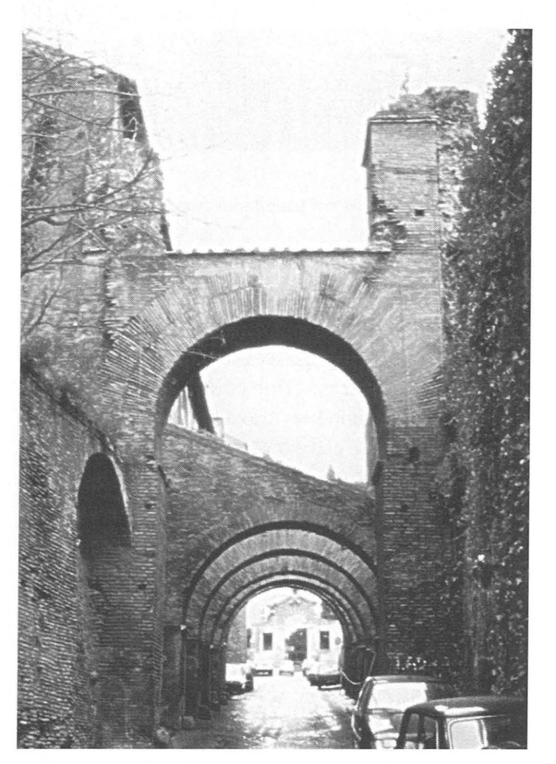


Figura 5
Arcos de acodalamiento de la iglesia de San Giovanni e Paolo. Clivo di Scaurio, Roma.

El acodalamiento de muros y pilastras

Las ampliaciones de los edificios palatinos llegan a invadir por el este las vías del Foro Romano y avanzan al oeste hacia las tribunas del Circo Máximo. Con objeto de mantener la cota de las primitivas edificaciones del Monte Palatino las nuevas construcciones se elevan sobre la cota del terreno. Para tal fin se elevaron subestructuras constituidas en los primeros edificios por muros perforados y, posteriormente, se perfeccionaron estilizándolas hasta conformar pilastras acodaladas, utilizando para este fin un sistema estructural similar al ya ensayado en la ejecución de acueductos de doble arquería. Se vuelve a recurrir a este sistema para fines similares en algunas edificaciones de la Villa Adriana en Tívoli.

Las arcadas Severianas

Esta construcción se levanta dentro del complejo de los Palacios Imperiales sobre las tres colinas del Monte Palatino. Iniciado el proceso de las consecutivas edificaciones por Augusto en el año 26 a.C. Settimio Severo (193-211 d.C.) realiza la ampliación del Palacio Imperial a partir de las construcciones domizianas sobre el monte Palatino. Con el propósito de mantener la misma altura de las estancias imperiales sobre el Circo Máximo, se construye una plataforma sobre pilares y arcos para soportar en su superficie las nuevas termas. Séptimo Severo lo continúa, ampliando el palacio por la parte meridional. La obra severiana conocida hoy consiste en una plataforma levantada en paralelo al Circo Máximo y a la misma cota de las instalaciones palaciegas preexistentes. La plataforma se sustenta mediante bóvedas de arista sobre al menos tres hileras de pilastras construidas en *opus testaceum.*[12] La altura del conjunto y su diafanidad obliga a arriostrar las pilastras a media altura

mediante arcos de acodalamiento dispuestos en ejes perpendiculares. Se puede observar en la arquería más meridional de sus ruinas el refuerzo ejecutado a posteriori mediante el relleno de sus vanos con pilastras y arcos de acodalamiento de medio punto de diferente flecha y altura. Esta obra debió acometerse ante el temor de un desplome de los pilares originales (figura 6).

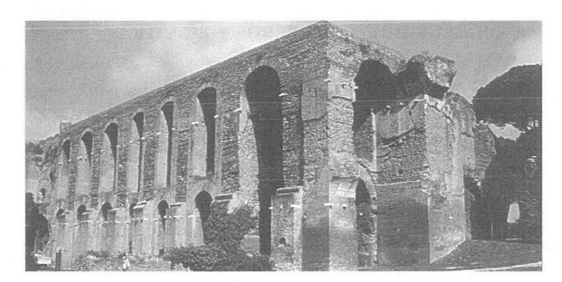


Figura 6
Plataforma del Palacio de Settimio Severo. Palatino, Roma.

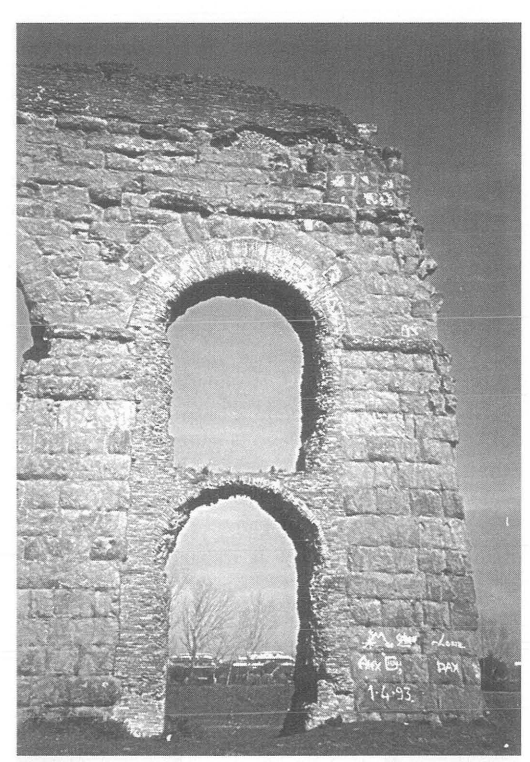


Figura 7
Refuerzos neronianios del acueducto Acqua Claudia. Appio Claudio, Roma.

Los acueductos de Roma

En Roma se construyen hasta doce acueductos para suministro de la ciudad y se ejecutan las primeras trazas de doble arquería. El Acqua Claudia, a sus 40 años de servicio, necesitó refuerzos en su trazado que se acometieron mediante el relleno de sus huecos con fábrica de ladrillo, formando arcos y pilastras adosados. Para dar mayor estabilidad al conjunto, se ejecutó en su parte inferior otra hilera de arcos con la misión de acodalar las pilastras reforzadas, recibiendo así en un plano intermedio la de las pilastras superiores (figura 7). Si bien esta obra pudiera calificarse como el primer arco de acodalamiento de refuerzo conocido, es con la ampliación de los arcos Neronianos cuando se construye una doble arquería para la prolongación del Acqua Claudia hasta el templo de Claudio en el monte Celio.

La solución de acodalar las pilastras de los acueductos no se aplicó de forma tan rotunda en los acueductos de suministro a Roma como en el modo que llegó a ejecutarse en el acueducto de Mérida. El Acqua Marcia (144 a.C.) y el Acqua Claudia (38-52 d.C.), construidos ambos en sillería en sus trazados abiertos, no recurren al arco de acodalamiento. El Acqua Caelemontani (52 d.C.) y el Acqua Alexandrina (226 d.C.) realizados en *opus testaceum* (fábrica de ladrillo al exterior con argamasa interior) recurren en determinados trazados a la doble arquería sin diferenciar el tipo y las dimensiones de las arquerías superior e inferior. Pero la rigidez del sistema constructivo y la proporción entre macizo y hueco hacen percibir el conjunto como un muro perforado en dos o hasta en cinco niveles de altura. Tal es el caso de los arcos Caelemontani a su paso sobre la actual Vía de San Gregorio según la reconstrucción recogida por R. Lanciani.[13] Este tipo de construcción, aunque se encuentra muy lejano a la independización estructural de los arcos de acodalamiento, supone no obstante un importante avance en tal sentido.

Los Acueductos de las provincias romanas

Aunque el acueducto constituye la obra de ingeniería romana mediante la que se extienden por todo el Imperio los avances técnicos del momento, el sistema de doble arquería no se emplea por vez primera en Roma. En el año 20 a.C., se construye el acueducto de Tarragona, y años más tarde el de Pont du Gard de triple arquería, si en éste consideramos como tal su primer tramo inferior sobre el río Nimes y no como puente de arranque.

En las primeras realizaciones se opta por superponer sucesivos puentes con los que salvar desniveles. Así se concibe Pont du Gard. La arquería del nivel superior condiciona la flecha y luz de sus elementos a la nivelación exigida por el canal para una correcta circulación del agua. Como consecuencia, los arcos del nivel superior resultan de menor luz que los inferiores, y sus pilares se apoyan alternativamente en el extradós y en los riñones de la arquería inferior. Para favorecer la estabilidad del conjunto se escalonan arcos y pilares, disminuyendo su espesor a medida que se elevan.

Tanto en el acueducto de Tarragona como en el de Segovia no se percibe aún una clara diferenciación funcional y constructiva entre las dos arquerías superpuestas. El acueducto de Segovia (s. I d.C.) responde al mismo modelo que el de Tarragona con pilares escalonados, esta vez en tramos proporcionados, construidos en sillería.

El acueducto de Tarragona desarrolla un modelo de doble arquería con luces iguales, lo que posibilita la alineación vertical de huecos y la continuidad del eje de los pilares. Si bien Blas Taracena relaciona este modelo con el desarrollado en el Norte de Africa, lo cierto es que encontramos similares construcciones en Constantinopla y en Roma.[14] La arquería superior mantiene una altura limitada, mientras que los pilares inferiores absorben del desnivel del terreno. Se mantiene el escalonamiento de la construcción en altura. Los pilares de la arquería superior se apoyan sobre la fábrica de los riñones de los arcos inferiores. El aparejo constituido por la arquería inferior y la sillería de relleno en sus riñones actúa como un zuncho de arriostramiento y de reparto de cargas descendentes. Igual función cumple el arquitrabe de coronación sobre la arquería superior. Al confiar a la arquería inferior el arriostramiento del acueducto en su plano se posibilita el desarrollo de una planta rectangular en pilares con su lado mayor perpendicular al plano del acueducto. No podemos definir a estos arcos inferiores aún como verdaderos arcos de acodalamiento toda vez que su misión es redistribuir en los pilares de apoyo la carga vertical transmitida por su extradós procedente de los pilares superiores a través de sus riñones.

En el s. I d.C. se construye el acueducto de Sextilio Polión, en Efeso, bajo el reinado de Augusto. Su traza, de doble arquería con luces de arco diferentes en los dos niveles, responde al esquema empleado en Pont du Gard: la arquería inferior es de mayor luz para desarrollar menos pilares y la superior aumenta el número de arcos y reduce su luz para adaptarse al nivel de coronación necesario por el paso de agua canalizada.[15] En el acueducto de Valente, en Estambul, levantado en la Época del emperador Adriano, los pilares conservan la misma sección de arranque en toda su altura, dotándose a la rosca de los arcos inferiores de menor espesor que a la arquería superior que soporta el *specum*.[16]

En el acueducto de Almuñecar (s. I d.C.), en su segundo tramo sobre el río Seco, se ejecuta un resalto en la cara interior a los huecos del arco en el arranque de pilares. Sobre dicho resalto se levanta una primera hilera de tres arcos que constituyen arcos de acodalamiento de refuerzo similares a los ejecutados bajo el mandato de Tito en el Acqua Claudia. El aparejo, las dimensiones y el comportamiento estructural de estos arcos los diferencia de los preexistentes.

La opción de no escalonar los pilares y mantener la planta de arranque en toda su altura dependerá de la cota necesaria de coronación. En las ruinas heredadas del acueducto de Túnez se percibe esta solución. La referencia que tenemos de este acueducto es la de una construcción de una sola arquería en la que el ancho de sus pilares se mantiene continuo en toda su altura y supera al adoptado por el canal de coronación, adoptando así una traza similar al de pilastras de refuerzo adosadas al cuerpo principal.

En Mérida, se construyen, probablemente entre los siglos II y III bajo el mandato de Trajano a los Severos, los acueductos de San Lázaro y Los Milagros. Se trazan pilares de planta continua en forma de cruz; los brazos mayores estabilizan la construcción en el plano perpendicular a su plano y los menores estriban las arquerías. Los arcos inferiores no interrumpen la continuidad de la fábrica de los pilares. Al adoptar la traza real de arcos rebajados no reciben cargas de las arquerías superiores y sólo sirven para acodalar los pilares en mejor disposición para absorber posibles

empujes. Son en toda regla arcos de acodalamiento. El modelo desarrollado recoge todas las innovaciones que se han ensayado a lo largo de la construcción de anteriores acueductos; se produce una definitiva diferenciación entre los arcos superiores, destinados a soportar la canalización de agua, y los inferiores, pensados para acodalar los pilares sustentantes en varios niveles. Los arcos superiores son de medio punto y los inferiores rebajados cabalgando estos últimos sobre unas hiladas de ladrillo voladas para prolongar el arco hasta simular una traza de medio punto. El ancho adoptado en éstos es menor al de la arquería de coronación y al de los pilares sustentantes. Las impostas del acueducto de los Milagros no rodean el pilar como ocurre en los otros acueductos romanos, sino que su desarrollo se ciñe a una moldura de tacón y listel bajo el intradós de los arcos, adivinándose otra de coronación en las pilastras adosadas. La moldura adquiere una función exclusiva de apoyo al sistema de encimbrado de arcos, renunciando a su desarrollo en imposta perimetral de carácter más estético. Se percibe también que la separación de la imposta al arco es diferente en los arcos inferiores, donde se respeta una pieza interpuesta entre la imposta y el falso salmer de ladrillo. Pese a estas mejoras técnicas, el acueducto de los Milagros ha soportado peor los efectos del paso del tiempo que los de Segovia y Tarragona, debido a que las novedades aplicadas han evidenciado sus puntos débiles hasta el punto de que se le atribuye a este acueducto el nombre de los Milagros por la inestabilidad de la obra[17] (figura 8).

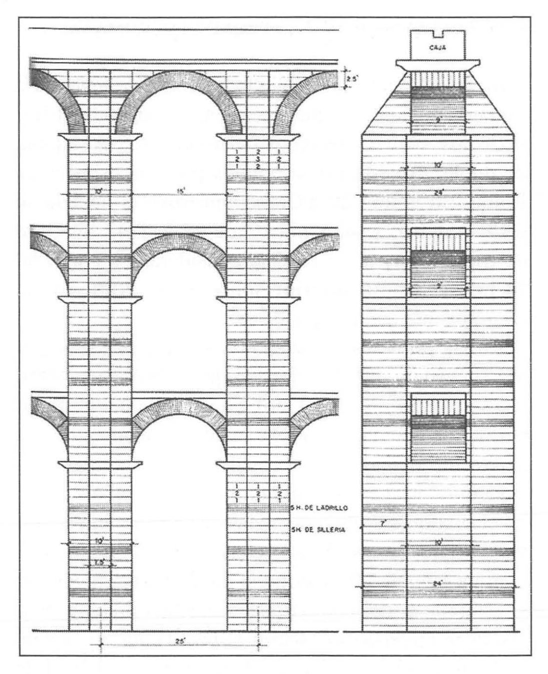


Figura 8
Alzados del acueducto de los Milagros, Mérida (tomado de Fernández Casado, C.: *Acueductos Romanos en España*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1972).

Notas

1. El término arbotante procede del francés «*arc-boutant*», de *arc*: arco y *boutant*: derivación de *buter*: estribar, apuntalar.
2. Marta, R.: *Tecnica Construttiva Romana*. Ed. Kappa. Roma, 1986, pp. 36 y 37.
3. Moya Blanco, L.: «Arquitectura cupuliformes», *Mecánica y Tecnología de los Edificios Antiguos*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, p. 101.
4. Blouet, G.A.: *Restauratión des Thermes d´Antonin Caracalla a Rome*. París, 1828.
5. Edmon Paulín, J.B.: *Thermes de Dioclétien*. Firmint-Didot. París, 1890.
6. Rivoira, G.T.: *Le origini della Architettura Lombarda*. Vol II. Ed. Loescher & Co. Roma, 1907, p. 492.
7. Gautier, P.M.: *(1790-1855). Roma Antica. L´Area Archeologica Centrale. <<Envois>> degli architetti francesi (1788-1924)*. Ed. Curia-Villamedici, Roma, 1985.
8. Giovannoni, G.: «Prototipi di archi rampanti in construzioni romane», *Annali della società degli ingenieri e degli architetti italiani*, núm. 10, L´Universelle, Roma, 1913, p. 9.
9. Macdonald, L.W.: *The Architetture of the Roman Empire*. Vol. I. Yale University. New Haven, 1965, p. 87.
10. Luciani, R.: *El Coliseo*. Ed. Anaya. Madrid, 1993, p. 89.
11. Giovannoni, G.: Op. cit. p. 8.
12. Lanciani, R.: *Forma Urbis Romae*. Ed. Quasar, Roma 1990, lám. XXXV.
13. Lanciani, R.: *Rovine e Scavi di Roma Antica*. Ed. Quasar. Roma, 1985, p. 169, fig. 69.
14. Taracena Aguirre, B.: *Arte Romano. Ars Hispaniae*. Plus Ultra. Madrid, 1947. p. 22.
15. Ward-Perkins J. B.: *Historia Universal de la arquitectura. Arquitectura Romana*. Ed. Aguilar. Madrid, 1989, p. 147.
16. Miravet, J.L.: *Arqueología de las ciudades perdidas*. Vol 24: «Norte de Africa II. Constantinopla». Ed. Salvat. Barcelona, 1992, p. 58.
17. Taracena Aguirre, B.: *Op. cit.*, p. 24.

Las bóvedas tabicadas de Guastavino: forma y construcción

Javier García-Gutiérrez Mosteiro

Esta comunicación se inscribe dentro de los trabajos de investigación que se están realizando para la exposición «Las bóvedas de Guastavino en América», organizada por el Instituto Juan de Herrera (ETSAM) y el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU), en cooperación con la *Avery Architectural and Fine Arts Library* de la Universidad de Columbia; exposición de la que es comisario quien esto escribe, siendo coordinadores científicos Santiago Huerta y Salvador Tarragó, y documentalistas Gema López Manzanares y Esther Redondo.

Al tratar del sistema constructivo de bóvedas tabicadas es recurrente la referencia a Rafael Guastavino y la experiencia que, a caballo de los siglos XIX y XX, llevó a cabo en los Estados Unidos, referencia que apunta siempre una descollada —y atractiva— aventura constructora. Pero ¿en qué residió esa *aventura*? ¿cómo se deslinda la tarea emprendida por Rafael Guastavino y la desarrollada por su hijo, de igual nombre?; ¿arquitectos, empresarios, propagandistas, *inventores*?; ¿qué aportaron a la práctica vernácula de la bóveda tabicada?; ¿cuánta —y cuál— fue su obra?; ¿cuál la razón de su fulminante y sostenido éxito? ¿... y la de su posterior olvido?. Preguntas como éstas, que pueden parecer de intencionada retórica, permanecen abiertas y apetecibles a cuantos, desde distintos campos, puedan acercarse a estas dos notables, insuficientemente conocidas personalidades.

Los Guastavino, partiendo de un sistema constructivo tradicional en la órbita del Mediterráneo, realizaron más de mil importantes construcciones abovedadas en Norteamérica —varios centenares de ellas en Nueva York—; revolucionaron, proponiendo un eficaz sistema resistente al fuego, el panorama constructivo que allí habían encontrado; colaboraron estrechamente con los más destacados arquitectos del momento y levantaron sus asombrosas bóvedas en buena parte de los más significantes edificios de muchas décadas en los EEUU, desde las catedrales de *revival* medievalista hasta los grandes vestíbulos de los rascacielos.

Así y todo, la figura de los Guastavino no ha ocupado el lugar que merece en la Historia de la Construcción. George R. Collins, el gran estudioso —y, si se quiere, *reivindicador*— de los Guastavino señalaba en qué modo no deja de ser curiosa la poca atención que se ha prestado a este singular episodio de la construcción abovedada, toda vez que, precisamente por el hecho de contener *bóvedas de Guastavino* como principal —si no único— efecto espacial, es por lo que muchos de los edificios construidos entre los años 80 del siglo XIX y los que median el XX han sido incluidos en las más exigentes selecciones de arquitectura en los EEUU.[1]

* * *

Rafael Guastavino Moreno (1842-1908) había nacido en Valencia en 1842, interesado por la arquitectura se traslado a Barcelona donde, en 1861, comenzó los estudios en la Escuela Especial de Maestro de

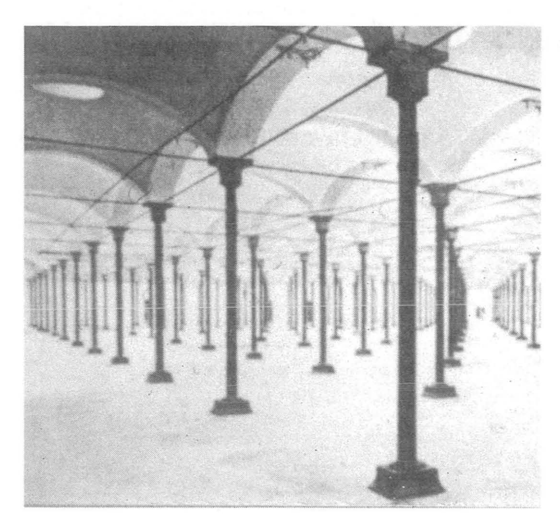


Figura 1
Interior de la fábrica Batlló (1868-1869) [foto de Aleu].

Obras.[2] Tuvo allí por profesores a Juan Torras y al que sería luego primer director de la Escuela de Arquitectura de Barcelona, Elías Rogent, que ya le apuntaron —aun en estado embrionario—[3] el sistema que más adelante desarrollaría.

Ya en 1868[4] había planteado con su proyecto para la fábrica textil Batlló, en Barcelona, lo que iba a constituir toda una revolución técnica, por la que su nombre quedaría muy tempranamente destacado en el ámbito de la construcción catalana. La espectacular sala de telares, cubierta por series de bóvedas tabicadas vaídas sobre soportes metálicos, fue el primer prototipo de la incorporación de la llamada por Guastavino *construcción cohesiva* en la configuración de un nuevo tipo de la arquitectura industrial.[5]

El rápido crecimiento industrial de Cataluña en la segunda mitad del XIX requería, para los grandes edificios fabriles, un sistema constructivo que conjugara la economía con la seguridad contra incendios. El logro de Guastavino fue el de recurrir a un procedimiento vernáculo, profusamente empleado en la arquitectura popular en Cataluña, cual es el de las bóvedas tabicadas, y, mediante la incorporación de materiales actuales —fundamentalmente el cemento portland, en vez de los morteros de cal—, convertirlo en moderno sistema constructivo y desarrollarlo hacia otros horizontes.[6]

El éxito inmediato de la experiencia llevada a cabo en la fábrica Batlló originó que muchos empresarios se interesaran por el procedimiento y le encargaran otras importantes obras; pero también los profesionales de la construcción cambiaron el punto de vista que tenían respecto a la aplicación moderna de las bóvedas tabicadas.[7] Este procedimiento se había venido empleando a base de combinar experiencia empírica e instinto constructor: poco o nada se había sistematizado sobre el proceso y sus bases de cálculo; es elocuente al respecto el panorama descrito por el propio Guastavino:

«Hasta los años 1866 o 1868 los profesores de la escuela de Barcelona, una de las más destacadas de Europa, y una ciudad donde el ladrillo se usaba más que en el resto del mundo, no comenzaron a prestar atención a este estilo, y cuando por fin lo hicieron fue sólo para tratar incidentalmente acerca de su resistencia y de sus posibilidades de uso; pero no entraron en su estudio, a pesar del hecho de que constantemente andaban sobre pisos construidos con este sistema».[8]

Junto a las ventajas estructurales y constructivas del sistema de bóvedas tabicadas es claro que este uso, basado a la postre en una tradición hondamente arraigada en Cataluña, fuera enseguida esgrimido, dentro de la vigente tendencia europea hacia las arquitecturas nacionales, como una afirmación de los

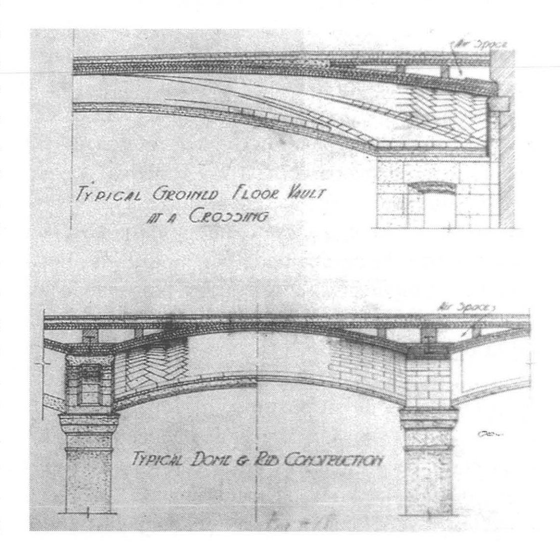


Figura 2
Modelos del sistema constructivo de Guastavino: solución en bóveda de arista y en vaída rebajada sobre arcos.

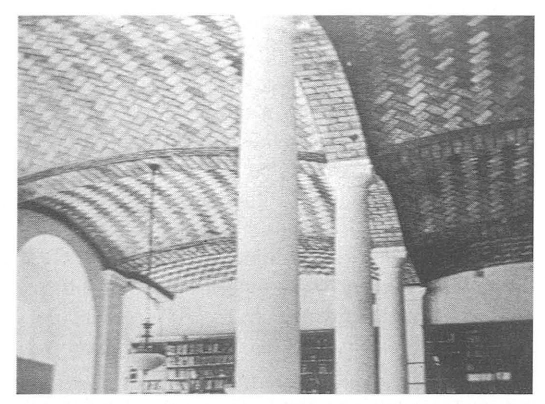


Figura 3
Intradoses de las bóvedas de la Biblioteca Pública de Boston.

caracteres singulares de la cultura catalana; afirmación particularmente explícita —acaso reforzada por la nueva presencia de una Escuela de Arquitectura en Barcelona— entre los más conspicuos arquitectos del Modernismo.[9]

Habría que reparar también en qué modo se contemplaba el desarrollo de este sistema de construcción, resistente al fuego, en la formulación de una mayor salubridad en las nuevas propuestas de grandes desarrollos urbanos. En este ámbito cabe destacar el estudio «Improving the Healthfulness of Industrial Towns» que Guastavino presentó, en 1876, a la Exposición del Centenario de la fundación de Filadelfia; en él exponía, con varios ejemplos realizados, las ventajas de su sistema de construcción resistente al fuego, aplicándolo a la busca de salubridad en las ciudades y sus rápidos procesos de crecimiento industrial.[10]

El hecho de que esta ponencia fuera gratamente acogida en el certamen, llegando a ser distinguida con la Medalla al Mérito, acaso alentara en Guastavino cierta intuición de que este éxito en su primer contacto con los Estados Unidos había de conllevar otros, y empezara a acariciar la idea de instalarse en ese país. Sea como fuere, cinco años más tarde ya había tomado tal decisión. Guastavino comprendió que la sociedad norteamericana, en plena expansión de recursos humanos y materiales, le ofrecía unas insospechadas expectativas. ¿Cómo, si no, y aun contemplando otras circunstancias de su biografía,[11] se arriesgaba a perder la prestigiosa posición profesional que había alcanzado en Cataluña, donde estaba desarrollando tan destacada producción arquitectónica?

* * *

Cuando en 1881 llega Guastavino a Nueva York encuentra en esta ciudad un panorama en el que se articulan dos hechos significativos que incidirán en su trayectoria: por un lado, la apertura a nuevos materiales constructivos —el cemento portland, el acero laminado, el hormigón— que irían sustituyendo las tradicionales y combustibles estructuras de madera; por otro, contrapuestamente a lo que en esos años está emprendiendo la «Escuela de Chicago», la progresiva implantación del gusto *Beaux-Arts*, cuya aceptación general en todo el país se conseguiría más tarde.[12]

La precaria llegada de Guastavino a EEUU (con escaso capital, sin —por lo que parece— suficientes

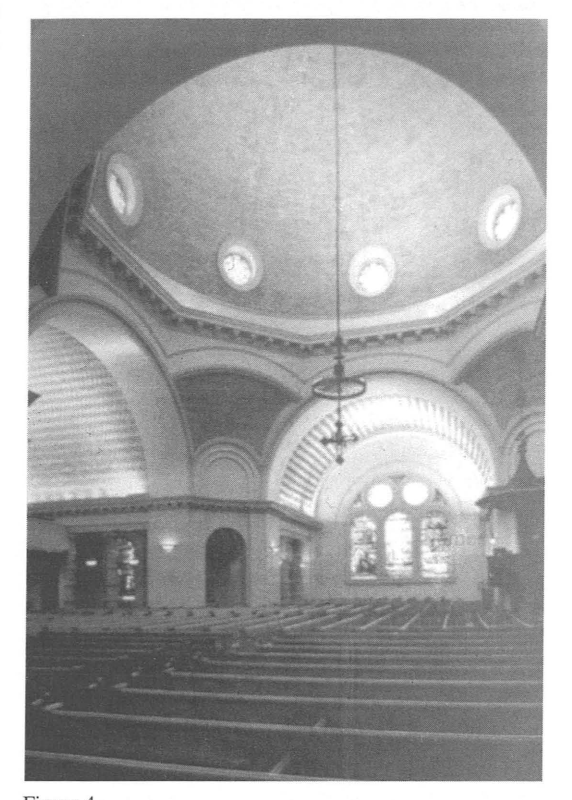


Figura 4
Interior de la *Central Congregational Church* en Providence (1893)



Figura 5
Cartel publicitario de la Guastavino Co., de 1915, mostrando algunas de las principales cúpulas construidas hasta el momento (entre ellas, con el número 1, la gran bóveda de *St. John the Divine* en Nueva York).

contactos y sin dominio del inglés) no le permitió inicialmente realizar el tipo de trabajo que había llevado a cabo en España. Así y todo, ya en 1883 había ganado el concurso para el edificio del *Progress Club* en Nueva York, y había construido algunos edificios de vivienda, en los que empleó *programáticamente*, como sistema constructivo resistente al fuego, las bóvedas tabicadas.

Desde sus mismos inicios en Nueva York practicó una activa política de patentes de procedimientos constructivos resistentes al fuego, basados en el ladrillo y las bóvedas *a la catalana.* Ya en 1885 había registrado el título «Construction of Fireproof Buildings», y en muy pocos años, con un conjunto de patentes que engloba bajo esa denominación de resistencia al fuego, logra producir unos materiales (piezas de ladrillo especiales, morteros, refuerzos metálicos en su caso) y procesos constructivos (bóvedas tabicadas y bovedillas para forjados, escaleras *a la catalana*, tabiques...) que confieren una eficaz operatividad al enseguida llamado *Guastavino System*; «invento» que, en realidad —salvo las evidentes ventajas que comportaban los nuevos morteros de cemento—, bebía directamente en las fuentes de la tradición vernácula que había conocido en España, pero que, poco a poco, con continuos aditamentos y mejoras fue constituyendo un sistema propio y característico.

Paralelamente a esta política, Guastavino fue consciente de la necesidad de conferir máxima confianza a su sistema de construcción; en 1887 ya había realizado rigurosos ensayos de las bóvedas que propugnaba, de manera que enseguida pudo demostrar sus excelentes condiciones de resistencia e incombustibilidad.

Con su primera gran obra, la Biblioteca Pública de Boston (1889), tuvo la oportunidad de poner a prueba las ventajas que su sistema de bóvedas tabicadas ofrecía respecto de otros procedimientos al uso, así como desvelar unas novedosas y atractivas posibilidades formales (muy acordes, por lo demás, con las líneas estéticas del momento); con esta obra, realizada en colaboración con la prestigiosa firma de arquitectos *McKim, Mead and White*, obtuvo amplia resonancia y publicidad, siendo decisiva para su definitiva orientación profesional.[13]

Probada la aceptación de su sistema constructivo y contando con la seguridad que comportaban las patentes registradas, constituyó en 1889 la *Guastavino Fireproof Construction Company.* A partir de entonces su actividad —rechazado definitivamente el ejercicio libre de la profesión de arquitecto— está ligada a la empresa, de manera que al referirnos a las *bóvedas de Guastavino* nos remitimos a un complejo proceso productivo, ampliamente desarrollado en el tiempo, que sobreviviría en mucho a su fundador: tras su muerte sería su hijo quien se hiciera cargo de la empresa, no liquidándose ésta hasta el año 1962.[14]

En la constitución y rápido desarrollo de la compañía fue decisiva la figura de William E. Blodgett y, más tarde, la de su hijo Malcolm: ellos dirigieron los asuntos financieros de la empresa, sabiendo sortear los graves períodos de depresión económica que fueron apareciendo en el país;[15] los Blodgett fueron dos pilares fundamentales para la *Guastavino Company*, cuya historia queda así descrita en la sucesión de generaciones de dos apellidos.

* * *

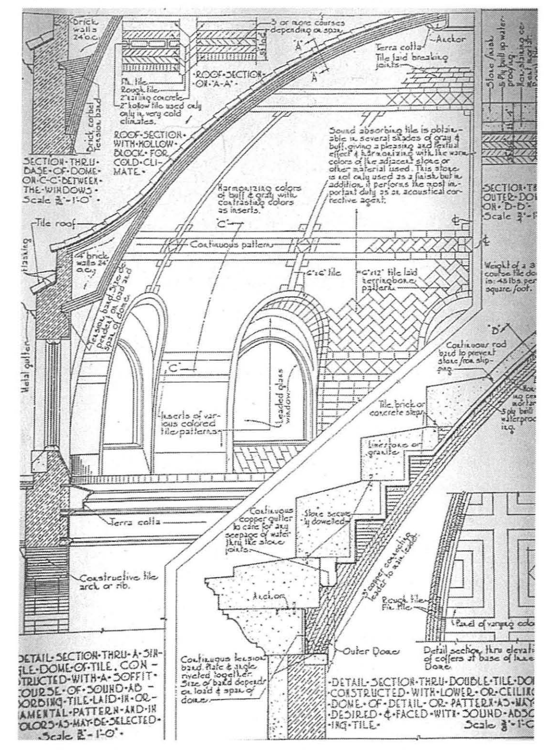


Figura 6
Folleto propagandístico de la *Guastavino Company*.

¿De qué medios dispuso Guastavino para, partiendo de la nada, alcanzar tan temprano y resonante éxito?[16] Un aspecto que, en gran parte, responde a esta pregunta es el progresivo control que la compañía fue estableciendo sobre todas las fases del proceso constructivo: diseño y patentes, ensayos, fabricación y manufactura de los distintos tipos de ladrillo, distribución y puesta en obra; ello conllevaría un alto control de calidad, una activa colaboración con los arquitectos autores del proyecto, una mayor agilización de la obra y un abaratamiento de la construcción.

Es destacable el especial cuidado de Guastavino en registrar en patente, más allá de los diversos materiales cerámicos, el propio proceso constructivo. Al imponer que el procedimiento fuera realizado por personal debidamente cualificado velaba —como él mismo afirmaba—[17] por el crédito de la patente; pero ello también le garantizaba prácticamente la exclusiva en la construcción de este tipo de bóvedas. El celo con que los Guastavino protegieron su sistema (llegando incluso a litigar contra un operario de la compañía que intentó practicar autónomamente el procedimiento) explica el hecho de que, a lo largo de los muchos años de existencia de la compañía, mantuvieran lo que cabe entender como total monopolio en la construcción de bóvedas tabicadas en EEUU.

Otro de los firmes soportes de la empresa de Guastavino fue la calidad y eficacia de su línea propagandística. En ésta cabían desde los anuncios y reseñas de sus productos y procedimientos constructivos hasta el Álbum[18] que la compañía editaba con sus principales logros y la elocuente serie de folletos *Sweett's Catalogue*, que dan buena idea de las mejores construcciones que la *Guastavino Company* iba llevando a cabo. Es de recalcar cómo en todo momento la compañía supo dar rápida y convincente difusión a cuantos aspectos —algunos de ellos, puros resultados de accidentes— abundaban en la demostración de las virtudes del sistema.

En contraposición a la divulgación publicitaria hay otro aspecto que interesa resaltar: la rigurosa difusión científica y técnica, mediante publicaciones y ponencias en congresos, que Rafael Guastavino supo hacer del sistema. Ya en su etapa catalana había constatado la inexistencia de tratados sobre la bóveda tabicada moderna; entendía necesario acometer este trabajo, actualizando ese conocimiento vernáculo con su aplicación a nuevos tipos edificatorios y —lo que juzgaba de interés capital— contemplando el progreso de los nuevos morteros. Ello le animó, tras sus primeros éxitos en EEUU, a la publicación de diferentes estudios sobre el sistema de bóvedas tabicadas, que con-

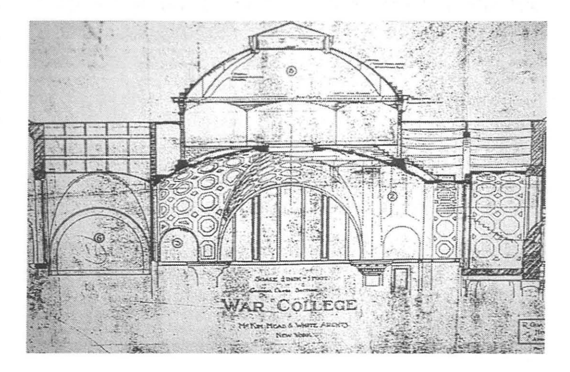


Figura 7
Sección del *U.S. Army War College*, en Washington (1905).

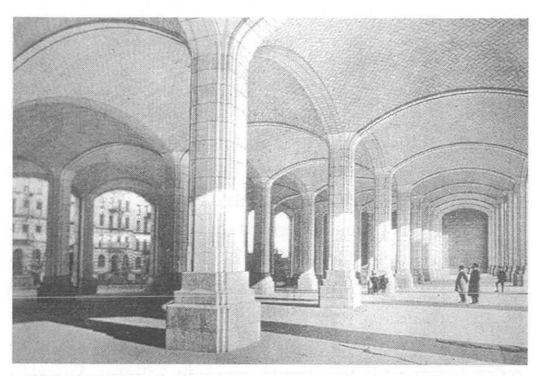


Figura 8
Intradoses de las bóvedas del puente de *Queensborough* en Nueva York (1909). [*Office for Metropolitan History*]

dujeron a la publicación, en 1892, de su *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction.*[19]

Este tratado, el más claro compendio de su idea de la construcción, es una viva defensa del sistema de bóvedas tabicadas, del que se esfuerza en mostrar las ventajas frente a la construcción en hormigón (que él mismo había tanteado en sus inicios)[20] y frente a las tradicionales bóvedas adoveladas. Describe el eficaz comportamiento estructural de su sistema, atendiendo fundamentalmente al especial proceso generador y constructivo, en el que otorga singular importancia a la rapidez de fraguado y resistencia del cemento portland.

Pero, además de esta defensa práctica, toca —en este libro y en otras publicaciones posteriores— lo que podemos llamar una defensa *filosófica* del papel que la albañilería ha jugado en la historia de la construcción. Frente el tradicional abovedamiento *por gravedad*, cuya mecánica se confía a la forma de las dovelas (pudiendo, desde un punto de vista conceptual, establecer las juntas entre ellas *a hueso*) contrapone el sistema *cohesivo* u *orgánico*, en que la capacidad adhesiva del mortero posibilita nuevos —y muy económicos— procesos generadores, con notable reducción —si no eliminación— de sistemas de encimbrado. Entendía —y defendía— este sistema como especialmente adecuado a la construcción de su tiempo, afirmando que —con el progreso de los nuevos morteros y su rápida capacidad de fraguado— la albañilería cohesiva en ladrillo sería el material del futuro.[21]

* * *

En la labor emprendida por Guastavino no puede soslayarse el papel desempeñado por su hijo, Rafael Guastavino Expósito (1872-1950). Éste, emigrado con su padre a Nueva York y que contaba diecisiete años cuando se fundó la *Guastavino Company*, participó intensamente del proceso de constitución y desarrollo del sistema, ayudando a su padre a pie de obra y adquiriendo rápidamente singular experiencia. Tras la muerte del fundador (1908) se hizo cargo de la empresa y, de hecho, gran parte de los más resonantes éxitos de la *Guastavino Company* se produjeron bajo su dirección (la gran bóveda vaída de la catedral neoyorkina de *Saint John the Divine*, por ejemplo, una de las más célebres construcciones del *Guastavino system*, se construyó en 1909).[22]

Guastavino hijo, partiendo de un sistema constructivo ya plenamente consolidado y contrastado, lo desarrolló en nuevos tipos arquitectónicos e introdujo significativas mejoras estructurales (en este sentido es destacable la incorporación de armaduras metálicas en el tendido de las hojas de ladrillo,[23] avanzando, en cierto modo, lo que hoy conocemos como «cerámica armada»). Pero sus intereses, una vez sistematizado el procedimiento de la construcción tabicada, se dirigieron también hacia aspectos complementarios, como la cerámica vidriada, los acabados polícromos y, sobre todo, los materiales de acondicionamiento acústico, que resultarían de gran interés arquitectónico y comercial.

La vasta experiencia desarrollada por la compañía en grandes iglesias y auditorios estaba reclamando

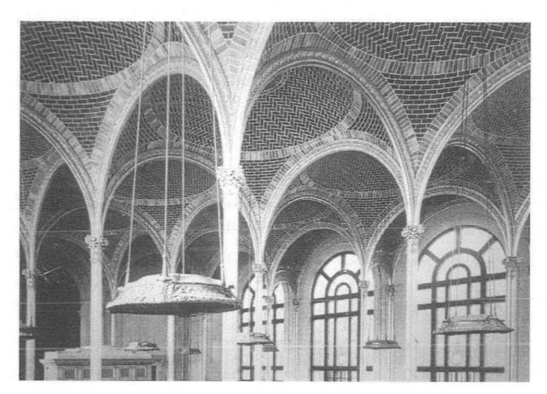


Figura 9
Bóvedas de la biblioteca del *Albany State Education Building* en Albany (1910-1911) [*Sweet's Catalogue*]

un ladrillo absorbente al sonido que permitiera tratar adecuadamente el intradós de las bóvedas tabicadas.[24] Con este objetivo Guastavino estableció contacto, en 1911, con el célebre ingeniero Wallace Clement Sabine, profesor de la Universidad de Harvard y máxima autoridad en EEUU en materia de acústica; con él llegaría a una colaboración para desarrollar un nuevo material que mejorara las cualidades absorbentes del ladrillo; colaboración que quedaría cristalizada en buen número de patentes: entre ellas, el ladrillo denominado *Rumford Tile* (1914)[25] y el posterior *Akoustolith* (1915).[26]

* * *

La labor desarrollada por la *Guastavino Company*, a lo largo de 70 años, lejos de restringirse a un mero quehacer de contratación de obras y dominio de patentes, ha de juzgarse como *arquitectónica*, involucrada en la generación espacial y formal de los edificios. La necesaria conformación del espacio arquitectónico que conlleva el sistema abovedado hace que, en tantos casos, no sea distinguible la separación entre forma y construcción; en este sentido se hace interesante estudiar la relación entre la compañía de Guastavino y los equipos de arquitectos con los que colaboró.[27]

El sistema de Guastavino se adaptaba con facilidad a los requerimientos de los arquitectos y, a la vez, ofrecía una copiosa fuente de recursos formales y espaciales (bóvedas cilíndricas, con lunetos, cúpulas esféricas y de planta elíptica, bóvedas de arista, vaídas, bóvedas de crucería neogóticas, escaleras, articulaciones mixtas...); posibilitaba una creativa relación —abierta a la experimentación y busca de las distintas posibilidades técnicas y expresivas— con la personalidad de cada arquitecto. Si con firmas como *McKim, Mead and White*[28] exploraría, durante largos años de colaboración, muy disímiles organizaciones espaciales y estructurales, con autores como Henry Hornbostel alcanzaría un máximo sentido innovador en la generación y articulación de superficies[29] y con equipos como *Cram, Goodhue and Ferguson*, particularmente interesado en las condiciones de revestimiento de las bóvedas, demostraría la capacidad plástica y acústica de los distintos materiales que ofertaba el sistema.

Elocuente muestra de la compenetración entre la *Guastavino Company* y los arquitectos con que trabajó es la documentación que nos ha quedado de las obras de la *St. Paul's Chapel* (1904-1907), en el campus de la Universidad de Columbia;[30] la correspondencia con los arquitectos —*Howells and Stokes*— demuestra «cuán intimamente trabajaron las dos firmas»,[31] abrazando todas las escalas del proyecto y participando de modo natural en la concepción arquitectónica.

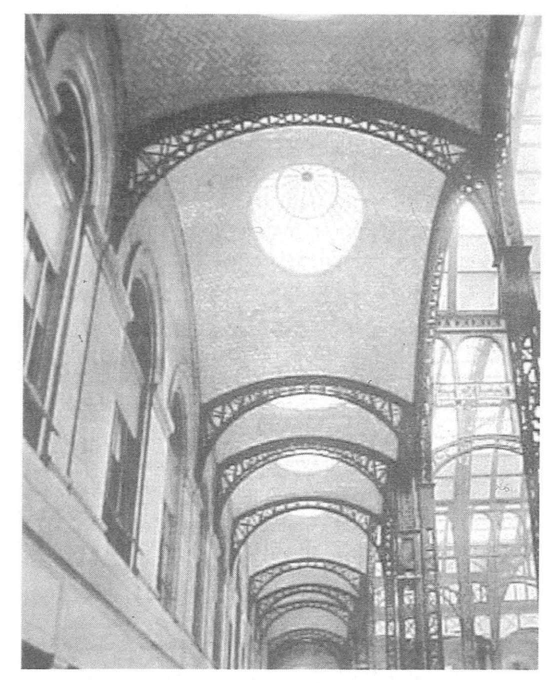


Figura 10
Pennsylvania Station en Nueva York (1905).

La versatilidad del sistema de Guastavino, expresada en la significativa dispersión tipológica de espacios a cubrir, se registra también en la especial adecuación a muy disímiles lenguajes formales: si la estética arquitectónica que imperaba en Nueva York a la llegada de Guastavino favoreció —como ya hemos indicado— el éxito de sus formas abovedadas, ligadas en mayor o menor medida a lenguajes pretéritos, no es menos cierto que el sistema de Guastavino supo atenerse después a más modernas tendencias formales, como el *dèco*,[32] y, en muchos casos, propició un moderno lenguaje dictado expresivamente por la sinceridad constructiva.

* * *

El hecho de la implantación de las bóvedas tabicadas en EEUU y su posterior desarrollo, experiencia celosamente acotada a la esfera de los Guastavino, supuso un inesperado resurgir del procedimiento vernáculo aprendido allende el océano; originó un espléndido desarrollo —cuantitativo y cualitativo—, una renovación técnica que iba mucho más allá de lo hasta entonces experimentado en España y que, en *viaje de vuelta*, alcanzaría aquí destacadas consecuencias en los años de autarquía que siguieron a la Guerra Civil.

Los Guastavino —su dilatada empresa constructiva en EEUU— representan (junto a la implantación del sistema abovedado en el Nuevo Mundo y junto al también inopinado éxito de Candela) uno de esos decisivos *trasvases* de la construcción abovedada desde España hasta América: un capítulo destacable en la Historia de la Construcción.

Notas

1. G.R. Collins, «The Transfer...», p. 176. George Rosenborough Collins (1917-1993), catedrático de Historia del Arte y la Arqueología de la Universidad de Columbia, fue un entusiasta estudioso de la arquitectura española. Su interés por ésta partió de su descubrimiento de la figura de Arturo Soria; luego se centró en los arquitectos catalanes de finales del XIX, muy particularmente en Gaudí, cuya figura difundió internacionalmente en los años sesenta, y creó el más importante archivo existente sobre arquitectura modernista catalana (donado al Instituto de Arte de Chicago); su estudio le llevó a conocer las bóvedas tabicadas, y de ahí a seguir la trayectoria de los Guastavino en EEUU.
2. J. Bassegoda Nonell, *Los Maestros*..., p. 86. Las escuelas de maestros de obras fueron suspendidas en 1869 (la nueva Escuela de Arquitectura de Barcelona no comenzó a dar titulaciones hasta 1875); el colectivo de los maestros de obras tuvo, hasta ese momento, un importante papel en Barcelona.
3. R. Guastavino, *Essay on the Theory*..., p. 9. Parece ser, por otra parte, que en esos años de formación ya había conocido el libro de Le Comte d'Espie, publicado en París en 1754 (del que existía desde 1776 traducción al español), *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles*, verdadero tratado acerca de la bóveda tabicada. (v. C. Flores, «El Viejo Mundo...», p. 40.
4. En su carrera profesional en Cataluña, desde 1866 hasta 1880, simultaneó el ejercicio como arquitecto con el de constructor, realizando buen número de edificios residenciales e industriales, en los que fue experimentando el uso de las bóvedas tabicadas (v. J. Rosell, «Rafael Guastavino...», pp. 497-498).
5. En el edificio principal construye otros tipos de bóvedas tabicadas: entre ellas, cubriendo otras grandes naves, bóvedas cilíndricas rebajadas, atirantadas, sobre vigas de madera y soportes metálicos; y la que conforman el interesantísimo desarrollo continuo de una escalera de rellanos apechinados.
6. R. Guastavino, *op. cit.*, p. 15. El cemento portland, comercializado desde mediados de siglo, es el agente fundamental de la modernización de Guastavino: a su resistencia y rapidez de fraguado atribuía la capacidad resistente —hasta entonces no imaginada- de las bóvedas *cohesivas*. A esta renovación colaboraron también otros factores: el perfeccionamiento y aligeramiento del material cerámico, la combinación del sistema de bóvedas con elementos metálicos (ya para el contrarresto de empujes, ya como apoyos —jácenas, pies derechos-), así como las nuevas exigencias funcionales, estructurales y de resistencia al fuego.
   Guastavino fue principal artífice de esta modernización de la bóveda tabicada; caracteriza, junto a Juan Torras Guardiola (1828-1910), el período de constitución del nuevo sistema.
7. Este sistema pervivía en la arquitectura popular, y era más próximo a los albañiles que a los técnicos que estaban levantando los grandes y modernos edificios de la ciudad industrial.
8. R. Guastavino, «The Theory and History...», p. 218.
9. Es particularmente expresivo el hecho de que Lluis Domènech i Montaner, uno de los príncipales artífices de bóvedas tabicadas en la Cataluña de finales de siglo y arquitecto representativo del modernismo catalán, publicara en 1877 el célebre manifiesto *En busca de una arquitectura nacional*. No es de extrañar, desde este punto de vista, el significativo uso del sistema de bóvedas tabicadas que hicieron los más relevantes arquitectos del Modernismo, entre ellos Gaudí.
10. Guastavino envió este trabajo cuando la opinión pública norteamericana —aún bajo la impresión del incendio que en 1871 casi había arrasado la ciudad de Chicago- mostraba una especial sensibilidad por las condiciones de seguridad de las ciudades, que, tras la Guerra de Secesión, estaban conociendo un enorme crecimiento.
11. Partió para Estados Unidos con su hijo Rafael, de nueve años, tras su ruptura matrimonial.
12. La Exposición Universal Colombina de Chicago (1893), en la que participaría Guastavino, fue el acontecimiento que acaba con las avanzadas líneas formales que años antes había planteado la *Escuela de Chicago*.
13. Las publicaciones técnicas del momento reseñaron su sorpresa por este procedimiento que permitía levantar bóvedas *en el vacío*. A raíz del éxito de esta obra fue invitado en 1889 a impartir unas conferencias en la *So-*

ciety of Arts del *Massachusetts Institute of Technology* (que más tarde serían recogidas en su *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction*).

14. En 1943 Guastavino hijo vendió sus participaciones en la compañía, dejando como presidente a A.M. Bartlett. Tras la liquidación de la firma el profesor Collins adquirío el vasto archivo de la *Guastavino Company* para la Universidad de Columbia, donde actualmente se custodian. La decadencia de la compañía correría en paralelo al incremento del coste de la mano de obra y al perfeccionamiento y desarrollo de la técnica del hormigón armado, que posibilitaba ya competitivas bóvedas en delgadas membranas.
15. La brillantez emprendedora y propagandista de Guastavino no corría en paralelo con su capacidad financiera en los negocios: antes de su asociación con Blodgett había sufrido serios reveses económicos. (v. P. Austin, «Rafael Guastavino's ...», p. 16).
16. La habilidad con que Guastavino supo ir fundamentando su empresa queda patente en el hecho de que, a los diez años de su llegada a EEUU, ésta contara con oficinas abiertas en distintas ciudades: entre ellas, Nueva York, Boston y Chicago; así como que contara ya con alto número de importantes construcciones. Aunque la actividad de la *Guastavino Company* alcanzara casi todos los estados del país, se centró principalmente en la costa este.
17. Defiende la protección de la patente «no con el deseo de crear un monopolio, no como ganancia solamente», indicando que el sistema desaparecería de no limitar su uso —en tanto los constructores no tuvieran a su disposición los elementos necesarios, materiales y mano experta-. (R. Guastavino, *Essay on the Theory...*, p. 139).
18. Este álbum constituyó una de las primeras noticias recibidas en España (a través del arquitecto Mariano Belmás, que representó a Guastavino en el Congreso Internacional de Arquitectos que se celebró en Madrid en 1904) acerca de las grandes bóvedas que estaba levantando al otro lado del océano. Posteriormente pasó a ser propiedad de Luis Moya Blanco, quien divulgó parte del mismo en su célebre tratado *Bóvedas tabicadas* (1947).
19. Esta publicación sería seguida más tarde de otras. En 1893, con motivo del Congreso de Arquitectos en la Exposición Universal de Chicago, presentó la ponencia «The Cohesive Construction. Its Past, its Present; its Future?», luego publicada en *American Architect and Building News*. Más adelante, en 1904, con motivo del mencionado Congreso Internacional de Arquitectos de Madrid, presentó la ponencia «The Function of Masonry in Modern Architectural Structures».
20. R. Guastavino, *Essay on the Theory...*, p. 14.
21. R. Guastavino, *The Function of Masonry...*, p. 30.
22. Los arquitectos fueron Heins y La Farge (con este equipo de arquitectos también realizó la compañía las bóvedas de City Hall Subway Station, en Nueva York); posteriormente, en 1917 trabajó en este templo con los arquitectos Ralph Adams Cram y Ferguson, y el ingeniero Sabine como asesor acústico.
23. Caso, por ejemplo, de la construcción de la bóveda de la iglesia de *St. Bartholomew's Church* en Nueva York (1917), en colaboración con el arquitecto Bertram G. Goodhue.
24. R. Pounds, D. Raichel y M. Weaver, «The Unseen World...», p. 34.
25. Empleado en iglesias de especial relevancia, como el templo neoyorkino de *St. Thomas Church* (realizado con la firma de arquitectos *Cram, Goodhue and Ferguson*, y con Sabine como asesor acústico).
26. Con este material relizó la compañía multitud de edificios públicos e iglesias; entre éstas, la *Riverside Church* de Nueva York (1928-1931), realizada con la firma de arquitectos *Allen, Collens and Pelton*.
27. Collins contrasta el escaso conocimiento que en general se tiene de los Guastavino con la circunstancia de que «como contratistas y constructores ejercieron, probablemente, tanta influencia estética en los espacios tipo «imperial» de los primeros años del siglo XX y en las naves neogóticas de las décadas siguientes como los propios arquitectos de los edificios» (Collins, *op. cit.*, p. 192).
28. Con esta célebre firma de arquitectos realizó la *Guastavino Company*, además de la precitada Biblioteca de Boston, cerca de cuarenta edificios a lo largo de treinta años; entre ellos: el conjunto de la Universidad de Virginia en Charlottesville (en torno a 1897) y el *U.S. Army War College* de Washington (1905); así como muchas de las más importantes construcciones abovedadas de Nueva York, como la hoy desaparecida *Pennsylvania Railroad Station* (1909) y la insólita sintaxis de bóvedas de cerámica vidriada del *Municipal Building* (1917).
29. Valgan como ejemplos los puentes de Williamsburg y Queensborough en Nueva York (1903 y 1909, respectivamente) y la *labroustiana* biblioteca del *Albany State Education Building* (1910-11)
30. Obra de especial relevancia, y que marca la transición entre las etapas de Guastavino padre e hijo, es representativa de las posibilidades espaciales y plásticas del procedimiento.
31. J. Parks, «Documenting the Work...», p. 23.
32. Caso, por ejemplo, de las bóvedas del vestíbulo del *Western Union Building* en Nueva York (1929), realizado con los arquitectos *Voorhees, Gmelin and Walker*.

BIBLIOGRAFÍA

Austin, P.: «Rafael Guastavino's Construction Business in the United States: Beginnings and Development», *APT*

Bulletin. The Journal of Preservation Technology, (Nueva York), vol. 30, nº 4, 1999, pp. 15-19.

Bassegoda Nonell, J.: *Los Maestros de Obras en Barcelona.* Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1973.

Collins, G.R: «The Transfer of Thin Masonry Vaulting from Spain to America», *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 27. 1968, pp. 176-201.

Flores, C.: «Memoria de ausentes. George R. Collins (1917-1993)», *Arquitectura* (Madrid), 297 (1er. trimestre 1994), 101.

—«El Viejo Mundo construye el Nuevo. La historia de la Guastavino Company, rememorada por la Universidad de Columbia»), *Arquitectura* (Madrid), 310 (2º. trimestre 1997), 40-41

García-Gutiérrez Mosteiro, J: «Bóvedas tabicadas», en *Luis Moya Blanco. Arquitecto. 1904-1990.* Electa. Madrid, 2000, pp. 129-145.

Guastavino Moreno, R.: «The Theory and History of Cohesive Construction», *American Architect and Building News*, vol. 26, nº. 724 (9 nov. 1889), pp. 218-220.

—«Cohesive Construction: Applications — Industrial Sections», *American Architect and Building News*, vol. 27, nº. 739 (22 febr. 1890), pp. 123-126.

—*Essay on the Theory and History of Cohesive Construction.* Ticknor. Boston, 1892.

—«The Building of the Spanish Government at the World's Fair», *American Architect and Building News*, vol. 41, nº. 916 (15 nov. 1893), pp. 44-45.

—«The Cohesive Construction. Its Past, its Present; its Future?». *American Architect and Building News*, vol. 41, nº. 922 (26 agosto 1893), pp. 125-129.

—*Prolegomenos on the Function of Masonry in Modern Architectural Structures.* Record and Guide Press. Nueva York, 1896.

—*The Function of Masonry in Modern Architectural Structures.* American Printing Co. Boston, 1904.

—«Funtion de la maçonnerie dans les constructions modernes» en *Congrès international des architectes, Madrid, 1904.* Sastre. Madrid, 1906. pp. 337-360.

Gulli, R. y G. Mochi: *Bóvedas tabicadas. Architettura e costruzione.* CDP Editrice. Roma, 1995.

Moya Blanco, L.: *Bóvedas tabicadas.* Dirección General de Arquitectura. Madrid, 1947.

Parks, J.: «Documenting the Work of the R. Guastavino Company: Sources and Suggestions», *APT Bulletin. The Journal of Preservation Technology,* (Nueva York), vol. XXX, nº 4, 1999, pp. 21-26.

—y A.G. Neumann: *The Old World Builds the New. The Guastavino Company and the Technology of the Catalan Vault, 1885-1962.* Columbia University. Nueva York. 1996.

Pounds, R., D. Raichel y M. Weaver: «The Unseen World of Guastavino Acoustical Tile Construction: History, Development, Production», *APT Bulletin. The Journal of Preservation Technology,* (Nueva York), vol. XXX, nº 4, 1999, pp. 33-39.

Rosell i Colomina, J.: «Rafael Guastavino i Moreno: enginy en l'arquitectura del segle XIX», en *Ciència i Tècnica als Paisos catalans: una aproximació biogràfica.* Fundació Catalana per a la Recerca. Barcelona, 1995, pp. 494-522.

De las medias a las progresiones. Los cambios en los sistemas de proporción inducidos por la Revolución Científica

Francisco Javier Girón Sierra

Este trabajo quiere abrir a la investigación un campo hasta ahora inexplorado. Por ello, más que dar respuestas, nos dedicaremos a poner en duda algunos prejuicios muy consolidados, a señalar coincidencias que han pasado desapercibidas y sondear en este terreno posibles líneas futuras de prospección.

La mayoría de los estudios sobre proporciones arquitectónicas se detienen especialmente en el periodo humanista (Alberti, Serlio, Barbaro, Palladio), asomándose con timidez a veces a los tratadistas posteriores que parecen «conservadoramente» prolongarlo (Blondel, Briseux, etc.). ¿Hay algo interesante más allá?.

Estos estudios detectan un cambio de actitud en una etapa posterior en ciertos personajes hacia una «banalización» del sistema de proporciones, que después no dejará de acusarse. El caso de Perrault, con su sistema de órdenes en progresión aritmética ha sido quizás el más frecuentemente señalado como indicio de ruptura con el pasado humanista e inicio de su decadencia.

Wittkower apuntó en su día al subjetivismo teórico y filosófico posthumanista como causante de la ruina de los sistemas de proporción que dejaba las puertas abiertas al relativismo.[1] La fortuna de esta visión, por otra parte bien justificada, hace que los críticos posteriores hayan celebrado la «profundidad» y el «interés» de la teoría de proporciones humanista, y menospreciado las simplificaciones de Scamozzi, o Perrault, por triviales, o toscas y decepcionantes (W. Herrmann, A. Picon).[2] Mientras la primera necesita gruesos volúmenes para ser explicada, esta «otra teoría» se despacha en algunas páginas. En el mejor de los casos, cuando se profundiza, se sugiere que hay una razón: la emergencia de la revolución científica con su racionalidad hizo que se perdiera la fascinación por la antigua «enrevesada magia» y se buscasen sistemas cómodos, pragmáticos y fáciles de usar. (Pérez Gómez).

Mantengo sin embargo que debía haber algo «profundo» que no ha sido visto en esta tendencia a la simplificación. Todo este esquema puede replantearse si ponemos ante nosotros ciertos sucesos que hasta ahora no parecen haber sido reunidos en una visión conjunta:

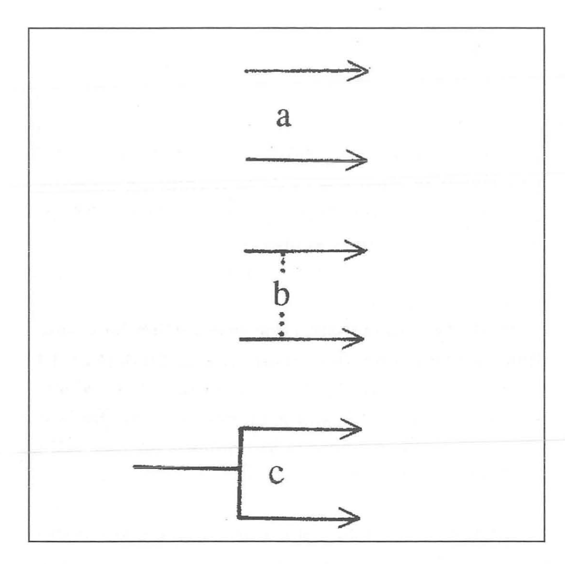
— Perrault no estaba solo. Había una tendencia, una línea de actuación seguida por otros: el sistema de proporciones humanista parece estar dominado por el engarce de distintas medias, que encadenan las medidas de manera no necesariamente «sucesiva».[4] Sin embargo Scamozzi, Perrault, incluso Blondel, Gibbs, etc., coinciden en orientarse hacia su encadenamiento consecutivo con progresiones.

— Este sistema alternativo se creó «rápidamente» en dos generaciones: coincide este periodo (pongamos entre los *Quatri Libri de Palladio* (1581) y las obras de Perrault y Blondel) con el despliegue de una revolución científica, de la que incluso forman parte los propios teóricos de la arquitectura.

— Las progresiones van a ser un instrumento matemático privilegiado en la investigación científica y filosófica de este periodo.

Ante este panorama caben básicamente tres hipótesis. a) Los sucesos son independientes, y en arquitectura la muerte de las medias y el nacimiento de las progresiones se deben a una actitud meramente práctica (o con una razón teórica específica aún no descubierta); b) La revolución científica influyó en la teoría arquitectónica (o se influyeron mutuamente), y c) hay algo «previo» que fluye a través de todas las actividades y que hace que se orienten hacia las progresiones

Estas posibilidades las podemos grafiar así:



Veremos a continuación porqué creo, en el estado actual de nuestra investigación, que debemos inclinarnos por un esquema que esté a caballo de los dos últimos.

La escala humanista de habitaciones como un sistema análogo al de la escala musical.

Acabamos de mencionar que el fenómeno de cambio de medias a progresiones fue más amplio de lo que suele considerarse. No sólo afectó a los órdenes, sino también a las fachadas o a la secuencia de habitaciones ideales. Interesa que empecemos estudiando éste último caso y su relación con otras disciplinas.

Abordemos primero cómo se construye la escala de las habitaciones ideales en la teoría humanista y cuál es su estructura matemática a través de Alberti, Serlio y Palladio.

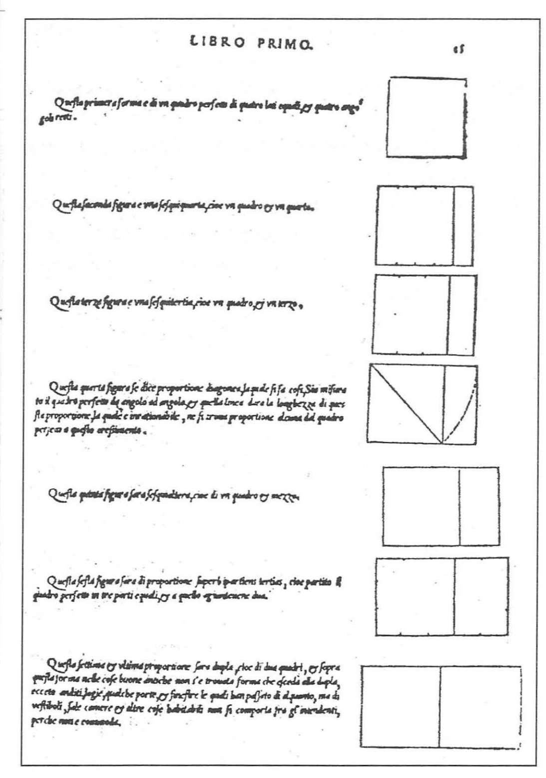
Para Alberti había varias fuentes de extracción de cantidades armónicas para definir formas arquitectónicas de las que surgen recomendaciones difíciles de integrar en un todo coherente.

A pesar de ello es claro que las relaciones de la armonía musical son especialmente legítimas, y con ellas plantea una primera *Secuencia Ideal.* En el capítulo VI (tras haber recomendado en el capítulo V el uso combinatorio de los números 1, 2, 3, 4, por sus propiedades en la teoría musical) aconseja para la estancias pequeñas (entre el cuadrado y el doble cuadrado) las proporciones 1/1; 2/3; 3/4; precisamente las relaciones de longitudes entre cuerdas que determinan las consonancias aceptadas por la teoría musical grecorromana (las que recomienda y superan esta dimensión pueden verse como traducción de consonancias de una octava superior, o compuestas de consonancias «secundarias»).[5]

Un problema de esta escala es que es muy corta. No comprende ni abarca relaciones como la 3:5, ni la 4:5, ni la raíz de 2 que el mismo había recomendado en otras partes, y que podemos encontrar también en Vitruvio para determinados espacios y edificios concretos.[6] Ni Alberti ni otros tratadistas posteriores sabrían recogerlas en la «secuencia musical».[7]

Será Serlio en su Libro I (Paris,1545) quién exponga por primera vez una ampliación de la secuencia «ideal» de habitaciones en un tratado de arquitectura: 1:1, 5:4, 4:3, raíz de 2, 3:2, 5:3, 2:1, incorporando las proporciones 4:5 y 5:3, que aparecían en Vitruvio. (figura 1)

Serlio no explica de dónde proviene esta secuencia, ni cuál el encadenamiento que vincula las medidas. ¿Tendría que ver también con la teoría musical? Intrigantemente coincide con las proporciones de la escala musical *posterior* de Zarlino (*Institutione harmoniche*, Venecia, 1558), aunque ya el gusto musical humanista del XVI había empezado a reconocer como sonidos armoniosos los que correspondían a relaciones de longitud 3:5 y 4:5 vitruvianas.[8] Por otra parte, hay esquemas gráficos de Serlio en su teoría de proporciones que recuerdan otros utilizados en la música griega. Desde antiguo la teoría musical de las



LIBRO PRIMO. 15

Questa prima forma e di vn quadro perfetto di quatro lati equali, & quatro angoli retti.

Questa seconda figura e vna sesquiquarta, cioe vn quadro & vn quarto.

Questa terza figura e vna sesquitertia, cioe vn quadro, & vn terzo.

Questa quarta figura se dice proportione diagonea, la quale si fa cosi, Sia misurato il quadro perfetto da angolo ad angolo, & quella linea dara la longhezza di questa proportione, la quale e irrationabile, ne si troua proportione alcuna dal quadro perfetto a questo cresimento.

Questa quinta figura sara sesquialtera, cioe di vn quadro & mezzo.

Questa sesta figura sara di proportione superbipartiens tertias, cioe partito il quadro perfetto in tre parti equali, & a quello aggiungeruene dua.

Questa settima & vltima proportione sara dupla, cioe di dua quadri, & sopra questa forma nelle cose buone antiche non s'e trouata forma che ecceda alla dupla, eccetto anditi, logie, qualche porte, & finestre le quali han passato di al quanto, ma di vestiboli, sale camere & altre cose habitabili non si comporta fra gl'intendenti, perche non e commoda.

Figura 1
La secuencia ideal de habitaciones en Serlio.

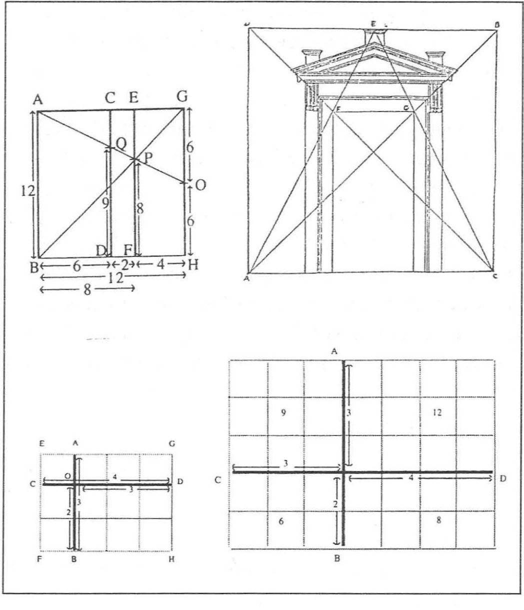


Figura 2
Comparación entre los esquemas de la teoría de consonancias con el trazado de una puerta en Serlio.

consonancias había expresado las relaciones a través de gráficos geométricos. Un ejemplo son los utilizados por Arístides Quintiliano en el libro tercero de su tratado de música. Esas operaciones geométricas hacían evidentes visualmente las relaciones de longitud que originaban sonidos armónicos. Llama la atención el paralelismo entre este primer esquema, y el de Serlio en el primer capítulo de su libro primero. La manera en la que se fija las proporciones de una puerta o de un óculo utilizan parcialmente la construcción de la música. El paso que parece haber dado Serlio es el considerar que la percepción visual de estos esquemas era también armónica.[9] (figura 2)

La escala serliana es recogida por Palladio (1570) añadiendo unas importantes consideraciones sobre el cálculo de la altura que luego comentaremos. March ha puesto en duda recientemente la relevancia de la música en la «construcción» de este y otros sistemas de proporciones.[10] Aún en tal caso, es claro que un contemporáneo culto «a posteriori» apreciaría el paralelismo entre las dos escalas y la idea de una traducción gráfica y tridimensional de las proporciones musicales. Faltarían para una analogía completa que Palladio considerase las proporciones 9:8 y 15:8, pero estas no son propiamente consonancias. Por otro lado «sobra» la habitación raíz de 2, pero la teoría musical podía justificar un valor muy aproximado.[11]

La estructura matemática de ambas escalas: el árbol de medias proporcionales.

Inspirada o no en la teoría musical, ambas comparten una determinada idea de orden y de proporción que se sugiere al arquitecto como método. Si por proporción entendemos la relación de las partes con el todo, ¿cuál es la coherencia interna del sistema en términos matemáticos? ¿cómo se concatenan orgánicamente las partes de la arquitectura? La solución que proponía era construir un «árbol» de medias proporcionales.

Veamos primeramente como se planteaba en la escala musical. Una escala musical puede visualizarse como un sistema de ocho cuerdas, donde son consonantes la primera (que mide 1) y la última (que mide 2) y queda por determinar las longitudes de las restantes. En la escala pitagórica reducida que inspira a Alberti hay sólo cuatro cuerdas que pulsadas resulten consonantes la primera, la última, la cuarta y la quinta. Las longitudes respectivas de estas dos últimas, 4:3 y 3:2, resultan ser medias: la cuerda 3:2 es la media aritmética entre 2 y 1, mientras que la cuerda 4:3 es la media armónica entre estas mismas cuerdas que definen la octava. El resto de las cuerdas completan artificialmente la escala y no se considera que resulten armónicas.

Pero si el papel de las medias era importante en la escala pitagórica, en la de Zarlino, que puede relacionarse con la de Serlio y Palladio, es el engranaje que encadena todo el sistema.

La cuestión desde un punto de vista teórico matemático era construir una escala musical que «pasara» por las consonancias clásicas y que incorporase las nuevas consonancias, o si se quiere, disponer como tercera y sexta cuerdas las longitudes 3: 5 y 4:5. Para ello Zarlino «desempolva» una de las escalas griegas, la del diatónico tendido de Ptolomeo. Los intervalos entre 1:1 y 1:2 se completan con 6 tonos y dos semitonos: 1:1, 9:8, 5:4, 4:3, 3:2, 5:3, 15:8, 2:1.

¿Cómo se relacionan matemáticamente?. Para simplificar el cálculo las longitudes de cuerdas consonantes reconocidas en todas las escalas 1, 4:3, 3:2, 2:1, se pueden escribir eliminando los denominadores: 6,8,9,12. Zarlino observa, como ya es sabido, que la quinta 9 y la cuarta 8 son la media aritmética y armónica respectivamente de 6 y 12. Las siguientes consonancias se obtienen de aplicar de nuevo las medias: la media aritmética entre 6 y 9 define la proporción de la tercera 5:4 y la media aritmética entre 8 y 12 la de la sexta 3:5. A su vez la relación 9:8 del tono se obtiene como media (ahora de una segunda aplicación) entre 6 y 5:4.

Lo que se obtiene es un sistema de medias que liga y ata todas las consonancias: este grupo limitado de operaciones aplicadas recurrentemente sobre unos pocos números, siempre los mismos, es un sistema trascendente en la medida que es capaz de de expresar algo tan fundamental como la forma matemática de la armonía universal. Es comprensible que esas operaciones y números pareciesen «maravillosos.[12]

Este plan de concatenación que podemos definir como una aplicación reiterada de medias, viene a ser «un árbol» de concatenaciones pero no una secuencia continua.

Si ahora, en vez de cuerdas en un arpa, visualizamos estas medidas como lados de un rectángulo obtenemos la secuencia que Serlio usa para la planta de las habitaciones ideales. Implícitamente se nos dice que proporcionar en arquitectura significa encadenar medias distintas de manera ramificada.[13] (figura 3)

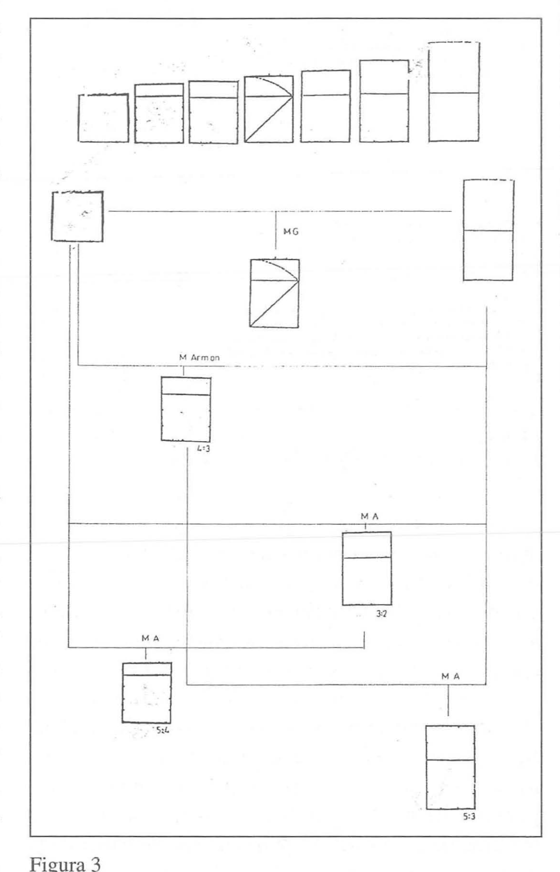
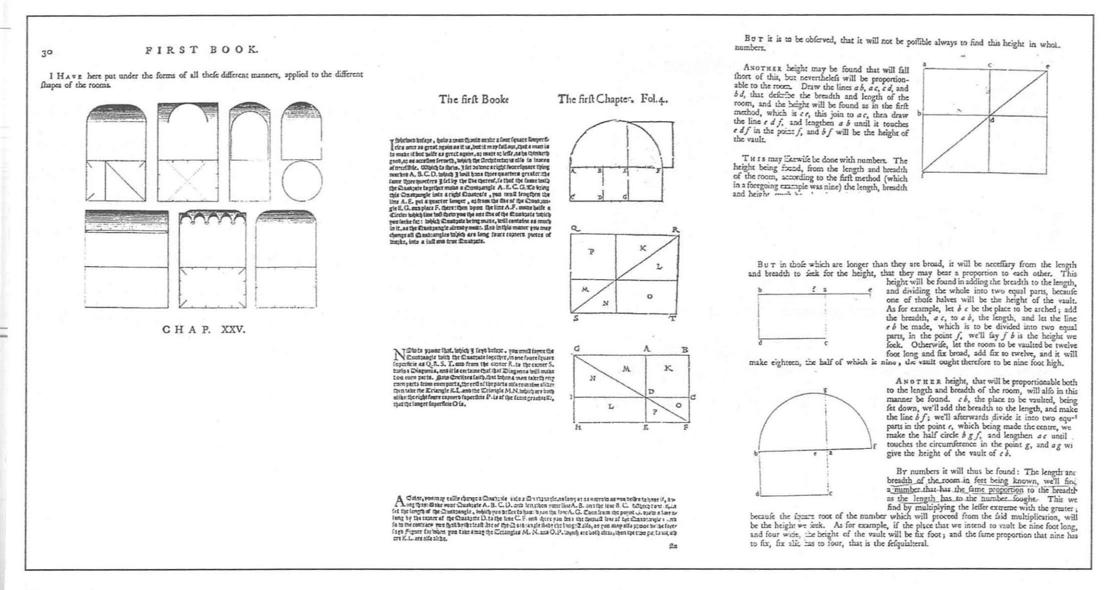


Figura 3
Esquema de las relaciones de medias que ligan la secuencia de habitaciones ideales en Serlio y Palladio.

Palladio da un trascendental paso más allá, dándole un alcance tridimensional (posibilidad que atisbaba Alberti al final del capítulo VI) proponiendo ex-


30 FIRST BOOK.

I HAVE here put under the forms of all these different manners, applied to the different shapes of the rooms.

CHAP. XXV.

The first Booke. The first Chapter. Fol. 4.

BUT it is to be observed, that it will not be possible always to find this height in whole numbers.

ANOTHER height may be found that will fall short of this, but nevertheless will be proportionable to the room. Draw the lines *a b*, *a c*, *c d*, and *b d*, that describe the breadth and length of the room, and the height will be found as in the first method, which is *c e*, this join to *a c*, then draw the line *e d f*, and lengthen *a b* until it touches *e d f* in the point *f*, and *b f* will be the height of the vault.

THIS may likewise be done with numbers. The height being found, from the length and breadth of the room, according to the first method (which in a foregoing example was nine) the length, breadth and height ...

BUT in those which are longer than they are broad, it will be necessary from the length and breadth to seek for the height, that they may bear a proportion to each other. This height will be found in adding the breadth to the length, and dividing the whole into two equal parts, because one of those halves will be the height of the vault. As for example, let *b c* be the place to be arched; add the breadth, *a c*, to *a b*, the length, and let the line *e b* be made, which is to be divided into two equal parts, in the point *f*, we'll say *f b* is the height we seek. Otherwise, let the room to be vaulted be twelve foot long and six broad, add six to twelve, and it will make eighteen, the half of which is nine, the vault ought therefore to be nine foot high.

ANOTHER height, that will be proportionable both to the length and breadth of the room, will also in this manner be found. *c b*, the place to be vaulted, being set down, we'll add the breadth to the length, and make the line *b f*; we'll afterwards divide it into two equal parts in the point *e*, which being made the centre, we make the half circle *b g f*, and lengthen *a c* until it touches the circumference in the point *g*, and *a g* will give the height of the vault of *c b*.

BY numbers it will thus be found: The length and breadth of the room in feet being known, we'll find a number that has the same proportion to the breadth as the length has to the number sought. This we find by multiplying the lesser extreme with the greater; because the square root of the number which will proceed from the said multiplication, will be the height we seek. As for example, if the place that we intend to vault be nine foot long, and four wide, the height of the vault will be six foot; and the same proportion that nine has to six, six also has to four, that is the sesquialteral.

Figura 4
Las habitaciones de Palladio y sus esquemas gráficos para construir medias aritmética, geométrica y armónica, que definan su altura.

presamente que las medias determinen las alturas de las habitaciones a partir de las dimensiones de los lados, de manera que *todo el espacio arquitectónico bien «proporcionado» formase un árbol de medias.*[14] (figura 4)

Desde un punto de vista teórico la solución es difícilmente mejorable para los parámetros intelectuales del momento: la referencia a las proporciones y relaciones que establecen la escala musical dota al esquema de un estatus científico y de una legalidad trascendente, a la vez que se cohesionan y subsumen buena parte de las proporciones vitruvianas.

La escala en progresión de Scamozzi y su paralelismo con las nuevas escalas musicales.

Cuarenta y cinco años después Vicenzo Scamozzi, un teórico del Véneto como Palladio, organiza sorprendentemente las habitaciones ideales en su *L'idea della architettura universale* (1615) según una sucesión de rectángulos que tiene el mismo ancho y que crecen aritméticamente de largo: 20, 25, 30, 35, 40 pies, y cuyas areas crecen también monótonamente en números redondos (400, 500, 600, 700, 800 pies cuadrados) definiendo proporciones diferentes a las tenidas hasta ahora como correctas: 1:1, 4:5, 2:3, 4:7, 1:2. Nótese que a desaparecido la clásica 4:3 o 5:3 y que a cambio tenemos una «rara» (aunque vitruviana) 4:7 que no tiene un valor significativo en música. Es decir Scamozzi sacrifica un sistema completo (y musical) a beneficio de una «ley» de progresión y concatenación de las habitaciones ideales. ¿Qué justifica esta decisión? ¿Se desmarca aquí de toda posible referencia a las escalas musicales?.(figura 5)

Un hecho importante es que, desde poco después del fallecimiento de Palladio y a lo largo del siglo XVII, uno de los problemas teóricos emergentes en música era lograr construir escalas musicales que desde el punto de vista de la afinación, orquestación y construcción de los propios instrumentos diesen menos problemas que las conocidas hasta entonces. Las diversas propuestas se han ido alineando en tres vertientes, escalas mesotónicas, en partes iguales y regulares. No es aquí el caso de entrar en pormenores, lo importante es resaltar lo que supuso la aportación de las escalas regulares.

Desde un punto de vista matemático lo que se buscaba en una escala regular era lograr ligar todas las notas según una verdadera progresión en vez de con

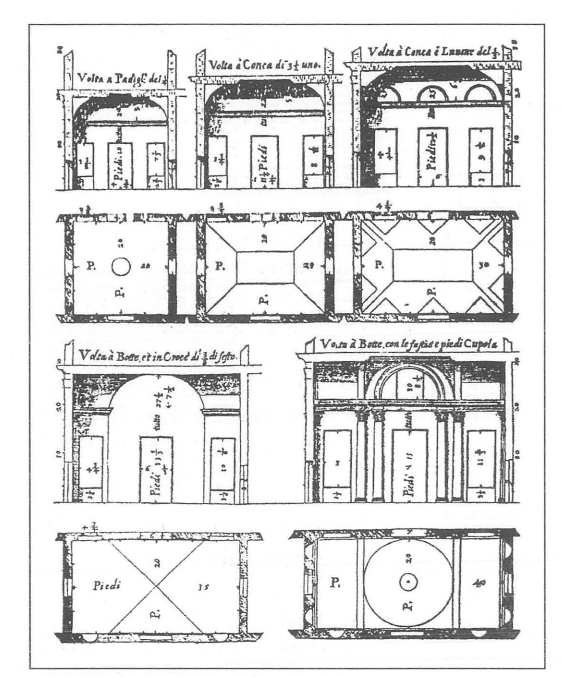


Figura 5
Secuencia de habitaciones en progresión según Scamozzi.

un árbol de medias. Había que construir una progresión que empezando por la relación 1:1 y terminando en la 2:1 pasara por todas las consonancias modernas reconocidas. En cierto modo la idea de crear una escala en que todas las notas estén separadas por el mismo intervalo o proporción (o dicho de otro modo, que las longitudes de cuerdas estén siempre en la misma relación) era resucitar una concepción musical griega bien conocida, la de Erastoxenes (los propios comentarios musicales en Vitruvio hacen referencia a este autor). Se trataba en definitiva de construir una progresión geométrica entre dos valores extremos dados. Esta idea entrañaba dos dificultades importantes. Una era estética. Puesto que la progresión no podía pasar exactamente por todos los valores deseados, habría que admitir que algunas consonancias se definiesen con una relación menos pura, considerando que su desviación era para el oído insensible. La otra dificultad mayor era operativa, ¿cómo se podía construir esta progresión acotada entre 1:1 y 1:2 para los «n» términos de la escala?

Su construcción matemática requería de una concepción del número que sólo ahora era posible, pues debían intervenir números racionales con largos números decimales. Los intentos se fueron sucediendo; en vida de Palladio ya Vicentino (1555) se había interesado por la resolución de esta escala; después de publicados los *Quattro libri* (1570) y prácticamente coincidiendo con el fallecimiento de Palladio (1580) surgen las iniciativas de Salinas (1577), Zarlino (1588), V. Galileo (1589), quien propone una aproximación a la solución correcta basándose en una progresión de razón 17/18, y ya entrando en el nuevo siglo Stevin (1600).[15] (figura 6)

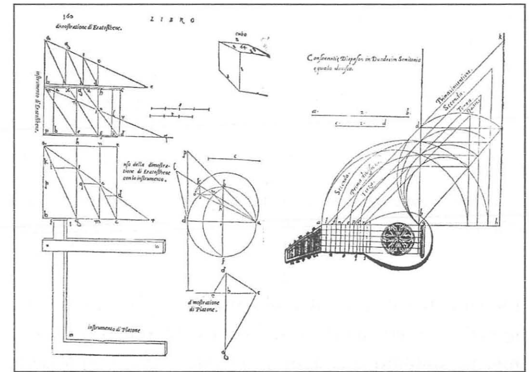


Figura 6
Aparatos para la duplicación del cubo en Barbaro, y su aplicación por Zarlino para construir escalas en progresión.

Vemos que antes de Scamozzi (1615) se había estado buscando la solución a una escala tal que las razones entre la longitud de las cuerdas de las notas sucesivas fuese constante.

¿Supo de esto Scamozzi? ¿lo imitó en su escala o llegó independientemente a su idea? No tenemos constancia de ello, pero Witttkower ya señaló como, quizás sinceramente, creía que la música era la fuente de las proporciones. Además es probable que conociese el problema y el instrumento elegido por los músicos para su solución mecánica (el astrolabio de Arquitas): se trataba de una extensión del viejo problema de la construcción de dos medias consecutivas dados dos valores extremos bien conocido por los teóricos de la arquitectura, como podemos apreciar en los comentarios a Vitruvio de Barbaro, pues servía

para la duplicación del cubo (Barbaro ilustra también los aparatos utilizados después por los teóricos de la música.[16] Es verosímil que viese el paralelismo conceptual entre su escala en progresión aritmética y estas otras.[17] Podemos dibujar provisionalmente esta relación como sigue:

Paralelismos y confluencias entre las progresiones de la escala musical y la física.

Sea como fuere, igual que en el caso de la «escala humanista», interesa ver qué estructura matemática se proponen unos y otros como orden y concatenación y qué significado tiene.

Si admitimos que la escala de Scamozzi es banal y cómoda, ¿debemos creer que también la música cayó en la «trivialización» de la suya? No es verosímil cuando tomamos conciencia de que dar el paso ¡supuso un esfuerzo matemático y geométrico de enorme dificultad.

En general las soluciones publicadas antes de Scamozzi eran incompletas tuvieron que recurrir al artilugio geométrico mecánico mencionado. La solución matemática rigurosa al problema de la progresión geométrica acotada, que había desafiado a las mentes más potentes, será resuelta por Descartes, y difundida por Mersenne (1636) en su monumental tratado de música.[18]

Con esta potente herramienta se podía construir por fin una escala musical en progresión exacta. La obra de Mersenne, que tendría una gran repercusión en Europa, es un canto a las virtudes de esta escala y una excelente recopilación (tablas, cálculos, aparatos, aplicaciones, etc.) de los esfuerzos anteriores por dar con ella. Un proceso iniciado en torno a 1570 tiene su primer fruto en 1636.[19]

Hay que decir que luego siguió ocupando a la revolución científica. En Inglaterra la generación de Wren, especialmente aquellos que se movían en el entorno de la Royal Society, siguieron discutiendo la teoría musical sobre la escala y elaboraron también sus propias alternativas. Aparte de los estudios de escalas enarmónicas, mesotónicas, etc de F.North, Wallis, o Thomas Salmon, varios autores propusieron la construcción de la escala en progresión.[20]

Vemos que no les fue «cómodo» plantearse esto, pero no entendemos la fuerza que impulsa entonces a crearse este problema con las progresiones. Si en efecto este era un hueso tan duro de roer...¿porqué ponerse este reto?. Vamos a ver como para entenderlo mejor deberíamos ahora en nuestro esquema gráfico añadir una nueva flecha, la de la «física» de la primera mitad del XVII y estudiar la relación que la escala de la música establece con ella.

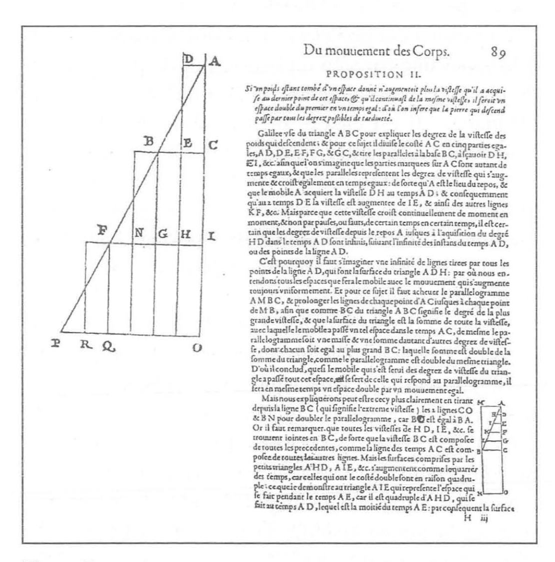
La música era una ciencia del orden natural, de las relaciones que parecen replicarse por doquier y servir de clave para comprender la Naturaleza. Mersenne afirmaba: «Il est encore bien aysé de conclure que l'on peut representer tout ce qui est au monde, & consequemment toutes les sciences par le moyen des Sons»; y ya que todo consiste en peso, proporción y medida, un músico «pourroit expliquer toutes les propositions de la Geometrie en ioüant de tel instrument qu'il voudroit».[21]

La teoría de la música era inseparable entonces de la física y se la veía como un tema científico y estético de primer orden, una especie de «ciencia primera» que sirve de modelo a las demás y en cierto modelo las explica. Por eso su tratado de música es ¡también un compendio de física con los estudios de caídas de graves de Galileo! ¿Qué podía absorber la nueva música de la nueva física?: la idea de la progresión como «proporción natural».

En la física pregalileana las progresiones parecen haberse intuido como la «forma matemática» elegida por la Naturaleza para los procesos de variación. Descartes y Beeckham en 1618 ya apostaron por ella para describir la caída de graves en soluciones equivocadas; con Galileo la sospecha se confirma plenamente.[22] Como se sabe en 1638 describe correctamente su ley con una progresión de números impares «mientras que los grados de velocidad aumentan en tiempos iguales según la sucesión simple de números, los incrementos que sufren los espacios recorridos durante estos mismos tiempos son como la sucesión de números impares a partir de la unidad».[23] Esta «red» lanzada para atrapar una nueva realidad quizás pareciese artificiosa en un principio, frente a las naturales y trascendentes medias. Pero una vez que Galileo demostró la «naturalidad» de las progresiones no dejaron de extrapolarse a otros fenómenos de variación presentes en la Creación.

Después de Galileo descubre Mersenne las progresiones en muy distintos fenómenos como la propagación de la luz o el sonido: «l'on demontre dans l'Optique que la lumiere se diminuë en proportion geometrique, & qu'il n'y a nulle raison qui empesche

que cette maniere de diminution ne conviennnnne aux Sons...il est raisonnable de conclure qu'ils se diminuent en proportion geometrique, c'est à dire proportionellement en espaces esgaux».[24] (figura 7)



Du mouuement des Corps. 89

PROPOSITION II.

Si vn poids estant tombé d'vn espace donné n'augmentoit plus la vistesse qu'il a acquise au dernier point de cet espace, & qu'il continuast de la mesme vistesse, il feroit vn espace double du premier en vn temps egal: d'où l'on infere que la pierre qui descend passe par tous les degrez possibles de tardiueté.

Galilee vse du triangle A B C pour expliquer les degrez de la vistesse des poids qui descendent; & pour ce sujet il diuise le costé A C en cinq parties egales, A D, D E, E F, F G, & G C, & tire les paralleles à la base B C, à sçauoir D H, E I, &c. afin que l'on s'imagine que les parties marquees sur A C sont autant de temps egaux, & que les paralleles representent les degrez de vistesse qui s'augmente & croist egalement en temps egaux: de sorte qu'A est le lieu du repos, & que le mobile A acquiert la vistesse D H au temps A D; & consequemment qu'au 2 temps D E la vistesse est augmentee de I E, & ainsi des autres lignes K F, &c. Mais parce que cette vistesse croist continuellement de moment en moment, & non par pauses, ou sauts, de certain temps en certain temps, il est certain que les degrez de vistesse depuis le repos A iusques à l'aquisition du degré H D dans le temps A D sont infinis, suiuant l'infinité des instans du temps A D, ou des points de la ligne A D.

C'est pourquoy il faut s'imaginer vne infinité de lignes tirees par tous les points de la ligne A D, qui font la surface du triangle A D H: par où nous entendons tous les espaces que fera le mobile auec le mouuement qui s'augmente toujours vniformement. Et pour ce sujet il faut acheuer le parallelogramme A M B C, & prolonger les lignes de chaque point d'A C iusques à chaque point de M B, afin que comme B C du triangle A B C signifie le degré de la plus grande vistesse, & que la surface du triangle est la somme de toute la vistesse, auec laquelle le mobile a passé vn tel espace dans le temps A C, de mesme le parallelogramme soit vne masse & vne somme dautant d'autres degrez de vistesse, dont chacun soit egal au plus grand B C: laquelle somme est double de la somme du triangle, comme le parallelogramme est double du mesme triangle. D'où il conclud, que si le mobile qui s'est serui des degrez de vistesse du triangle a passé tout cet espace, s'il se sert de celle qui respond au parallelogramme, il fera en mesme temps vn espace double par vn mouuement egal.

Mais nous expliquerons peut estre cecy plus clairement en tirant depuis la ligne B C (qui signifie l'extreme vistesse) les 2 lignes C O & B N pour doubler le parallelogramme, car B C est égal à B A. Or il faut remarquer que toutes les vistesses de H D, I E, &c. se trouuent iointes en B C, de sorte que la vistesse B C est composee de toutes les precedentes, comme la ligne des temps A C est composee de toutes les autres lignes. Mais les surfaces comprises par les petits triangles A H D, A I E, &c. s'augmentent comme le quarré des temps, car celles qui ont le costé double sont en raison quadruple: ce que ie demonstre au triangle A I E qui represente l'espace qui se fait pendant le temps A E, car il est quadruple d'A H D, qui se fait au temps A D, lequel est la moitié du temps A E: par consequent la surface

H iij

Figura 7
Esquema de Galileo para describir la caída de graves y su discusión en el tratado de música de Mersenne.

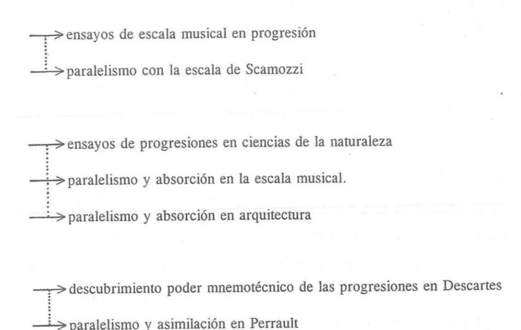
Puesto que para Mersenne la música era un «arte que explica el mundo», su estructura podía incorporar y reflejar las progresiones que se ofrecen como esqueleto matemático de la realidad. Había razones «semánticas» para utilizar las progresiones en las escalas, argumentos que iban más allá de la resolución de un problema técnico.

Paralelismos y confluencias del uso de las progresiones en arquitectura, música y física.

Ahora bien, la arquitectura, en la medida que incorpora y refleja miméticamente la estructura matemática de las proporciones naturales podía abrirse también a las progresiones. Bien imitando el proceder de la música o de la física.

Mersenne después de incorporarlas a la escala musical, apoyaba explícitamente la idea, invitando a los artesanos, arquitectos, etc., a proporcionar según las progresiones. Si en una de sus proposiciones afirma que «Il n'y a quasi nul art, nulle science, ou profession, à qui l'harmonie, & les livres precedens ne puissent servir», en otra propone como corolario: «chacun apprendra la maniere de disposer les couleurs, les nuances, les fenestres, les colomnes, &c. en proportion Harmonique, ou Geometrique, & Arithmetique, afin d'experimenter ce qui fait le beau, & l'agreable, & ce qui tient du grand dans tous les ouvrages de l'art: c'est à quoy plusieurs de nos discours pourront servir, si l'on en tire la lumiere qu'ils contiennent».[25]

Esto podría justificar el esquema gráfico que dibujamos a continuación.



De modo que quizás la arquitectura pudiera recibir de la física «vía» la teoría musical la percepción de que las progresiones son proporciones naturales que pueden ser imitadas. Pero en cierto modo no hemos hecho más que trasladar la pregunta que nos hacíamos sobre el significado de la fascinación por las progresiones en música; ¿porqué la física se interesó por las progresiones?

Galileo afirmaba que la expresión de la caída de un grave tendría que ser una progresión por seguir la Naturaleza siempre el camino más simple. Mersenne al respecto opinaba que, además, suele repetirlos y por ello debemos esperar progresiones en otros fenómenos: «car il ya de l'apparence que la nature suit toujours le mesme train en ses ouvrages».[26]

Estas son curiosas ideas «a priori», ¿por qué ahora se prefiere «lo simple matemáticamente» y se cree que las leyes de la naturaleza deben serlo? ¿por qué se identifica con las progresiones?, ¿no será que se ha incluido dentro de la Naturaleza a explicar una parte del mundo hasta entonces ignorada matemáticamente y que exige una «simplicidad» que las me-

dias no podían expresar. Estas cuestiones nos remiten a lo que creo que puede ser el esquema más completo.

Sobre la «flecha» que pone «progresiones» deberíamos poner «cambio de visión de un mundo estático» a otro dinámico».

Ahora cada habitación era como un «fotograma» que se relacionaba con el anterior y el siguiente.

Esta introducción de las progresiones de la mano de una nueva concepción de las formas y las ideas como «movimiento» se palpa de manera peculiar en Blondel y en Perrault.

Cambio de apreciación: expresiones que captan el orden del mundo en movimiento →
- ensayos de escala musical en progresión → paralelismo con la escala de Scamozzi
- ensayos de progresiones en ciencias de la naturaleza → éxito con Galileo → asimilación en Blondel
- descubrimiento poder mnemotécnico de las progresiones → Descartes → asimilación en Perrault

Mi tesis es que las progresiones aparecieron por ser la herramienta con la que mejor se comprendía matemáticamente una nueva visión del mundo. Se pasó a «ver el movimiento» en la Naturaleza y en los artefactos humanos. Esta tendencia propiciaría que en «física» se intentase atrapar matemáticamente los procesos de variación (que los griegos no habían visto matemáticamente), pero también que se entendieran las escalas arquitectónicas o musicales (estas también «físicas») como «la gráfica de una variación», de un movimiento.

Incluso el pensamiento mismo empezaría a verse como un movimiento que ya no podía atraparse lógica-matemáticamente por los silogismos (una estructura formal muy semejante a las de las medias, con sus dos términos extremos y el medio)

y que requería nuevos modelos y ayudas. Lo que también se reflejaría en la teoría arquitectónica al ver las proporciones de los órdenes (Perrault) como ideas, nociones complejas, que abarcaba una mente «en movimiento».

En este último esquema que dibujamos puede haber mutua influencia, pero también experiencias con progresiones en cada rama que derivan directamente de esta nueva «visión del mundo en movimiento».

Las progresiones y el mundo como movimiento. Galileo, Blondel y la mente cartesiana de Perrault.

Desde este punto de vista, en música y en arquitectura se estaría creando una nueva visión de la escala y de las habitaciones que las veían como integrando una «secuencia», un «movimiento» que se traduce en progresiones. El árbol de medias relacionaba las notas o las habitaciones como cuentas aisladas, estáticas.

Blondel, difusor de las ideas de Galileo, planteaba como uno de los «problemas principales de la arquitectura» el trazado del éntasis de una columna. Pero si ya había varias curvas disponibles como las concoides, y aparatos que las trazaban, ¿qué quiere decir esto?, ¿acaso el «problema» no estaba ya resuelto desde un punto de vista puramente formal?. Para Blondel las soluciones serían arbitrarias o sin significado trascendente, en la medida que no reflejaban nada de la Naturaleza, y no hacían a la curva de la columna portadora de significado. La verdadera solución se alcanza cuando *vemos el fuste como el resultado un movimiento* y *elegimos la trayectoria de un proyectil según la sucesión de Galileo*: «Et aprés soignesement médité sur la nature de la Ligne qu'elle produit; j'ay reconnu qu c'estoit une Ligne de la meme nature que celle que décriroit une fléche, ou tout autre chose tirée & jettée horizontalement».[27] (figura 8)

Por otra parte Blondel en su *Cours* (1675-1683) encuentra que las progresiones se reconocen ahora como «fundadas en la Naturaleza» [28] y por ello asimilables por la arquitectura, leyéndolas el mismo en monumentos de la antiguedad o de Palladio.[29]

El caso de Perrault, tan mal entendido como «trivial», es también interesante. Las razones que da en *L'Ordonnance* (1683)[30] para proporcionar los órdenes según progresiones insisten continuamente en factores psicológicos: Las progresiones aritméticas son las más fáciles de retener en la memoria, las razones de números enteros bajos tienen también esta propiedad, etc. ¿Puro pragmatismo? Nadie ha señalado la semejanza con los argumentos utilizados por Descartes en su día en su *Compendium Musicae* 1618 o en la «lógica» de las *Regulae* (1627/8). Descartes (que había ensayado las progresiones en la descripción de la caida de graves como hemos di-

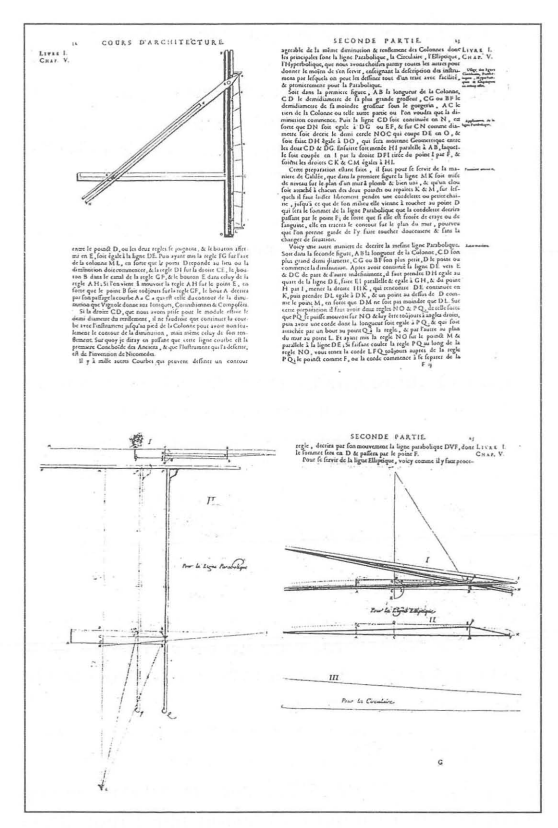


Figura 8
Blondel: trazado del éntasis con el aparato de Nicomedes para la duplicación del cubo (arriba) y como trayectoria de un proyectil según Galileo (abajo).

cho), encuentra que la música, entendida novedosamente como la percepción de una secuencia móvil de «impresiones» (y no simplemente como el problema estático de pulsar una consonancia), era más agradable cuando se apoyaba en el principio de que la mente recuerda mejor las impresiones visuales o sonoras ordenadas en progresiones, preferiblemente, aritméticas.[31] También creía, por motivos parecidos que el razonar ponía en movimiento una larga cadena de ideas que no podían recordarse ni examinarse con la estática estructura del silogismo, llegando a proponer la estructura de las progresiones como un modelo de lo que la mente lógica puede comprender.[32]

Perrault al asociar los problemas de percepción, memoria y progresiones sencillas extendía a las proporciones arquitectónicas argumentos cartesianos. Para el los ordenes requieren un esfuerzo de atención una lectura no instantánea en la que la mente puede perderse por el exceso de impresiones diferentes y la complejidad de las proporciones. La mejor manera de sintetizar, de «estancar» y atrapar ese flujo es plantear las dimensiones según una progresión. Al fin y al cabo, Descartes en su música había establecido que las líneas cuyas longitudes forman una progresión (o que están en una relación expresable con números muy bajos) son especialmente agradables y memorizables.[33] En este sentido es sintomática la insistencia con la que en su Vitruvio las láminas visualizan en forma de secuencia, de «progresión» las recomendaciones del texto. (figura 9)

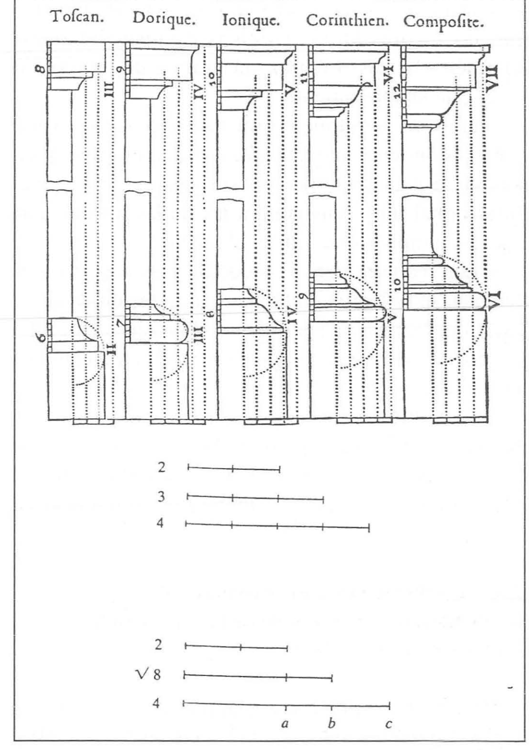


Figura 9
Progresiones en el trazado de órdenes en Perrault, y explicación gráfica de Descartes para mostrar la ventaja perceptiva de las progresiones sobre otras relaciones.

Conclusión.

Tras este repaso por la trastienda del uso de las progresiones en Scamozzi, Blondel y Perrault, podemos esbozar unas conclusiones provisionales:

El paso de una visión del mundo estática a una dinámica influyó en la ciencia física, en la música, en la lógica y la estética musical postpalladiana (pregalileanos, Galileo, Descartes). En estas disciplinas se forjó la idea de que la progresión era la «forma» matemática privilegiada por la Naturaleza, lo que más tarde confirmó la física, pasando a ser tan significativa como las antiguas medias.

La arquitectura no habría estado al margen de este proceso: ver las formas como el resultado de alguna clase de variación o movimiento, y por tanto matematizables con progresiones. El hecho de que la escala musical y la naturaleza física fuesen referentes teóricos, mundos de «imitación» (Scamozzi, Blondel) reforzaría aún más en ciertos casos un proceso de cambio (que quizás podría haberse dado incluso por sí solo). Por otra parte la apreciación cartesiana del flujo de ideas e impresiones como un movimiento, y la propuesta de su retención usando progresiones, parece estar detrás de la teoría de Perrault.

El número, las medias, habían perdido su magia. Pero a cambio surgió un nuevo objeto matemático cargado de sentido: las progresiones. El resultado es que se configuró entre unos y otros, en muchos caso por razones no triviales, sino enraizadas en la visión de la época de la revolución científica, un «edificio teórico» (habitaciones, columnas, fachadas) en progresiones.

Notas.

1. Wittkower,R: *Architectural Principles in the Age of Humanism.* Academy Editions. Londres 1988, Parte 7, «The Break-away from the Laws of Harmonic Proportions in Architecture», pp. 130-37.
2. Herrmann, W.: *La Théorie de Claude Perrault.* Pierre Mardaga. Bruselas, sin fecha, p 88: «Cette approche, prosaïque, sans imagination et apparemment bien loin de considérations esthétiques».
   Picon, A.: *Claude Perrault ou la curiosité d'un classique.* Picard. Paris, 1989, p. 151: «Les proportions préconisées par l'*Ordonnance des cinq espèces de colonnes selon la méthode des anciens* semblent procéder des réflexions d'un ingénieur avant tout préoccupé d'efficacité»
3. Pérez-Gómez, A. *Architecture and the Crisis of Modern Science.* MIT Press. Cambridge, Mass.,1983, p. 38: «Perrault never denied the importance of mathesis in architecture. But conscious of the Scientific revolution and its implications, he gave number a totally different role, using it as an operational device, as a positive instrument for simplifying the process of design...The fundamental intention betrayed by such use of numbers is totally modern....But as soon as number had lost ist symbolic connotations in philosophy toward the end of the seventeenth century; Perrault used it in his proportional system with the same intention».
   Hay una interesante revisión crítica reciente de la supuesta «magia» de este sistema de proporciones humanistas, la de March, L.: *Architectonics of Humanism.* Academy Editions. Londres, 1998, sobre la que volveremos más abajo; pero incluso él deja sin explorar el significado del cambio de «sistema» de proporciones posterior...además no todo puede ser explicado por su argumento. ¿Si en el humanismo hay sobre todo un «sistema que funciona» derivado de la propia lógica y práctica constructiva, porqué cambió después y en ese sentido hacia la progresi
4. Preferentemente. No es que dejasen de explorarse las progresiones, particularmente por Durero, pero no gozaban del prestigio de ser esencialmente naturales como lo eran las medias.
5. Si las habitaciones pequeñas corresponden a las consonancias de la primera octava (desde el «añadido» al «medio»), las habitaciones medias, 1:2, 4:9, equivalen a sonidos o proporciones de la segunda octava; igual ocurre con las habitaciones alargadas: 1:3, 3:8 y 1:4. (De hecho, en su explicación de cómo se construyen estas proporciones alude siempre a metodos de composición y cálculo propios de la teoría musical, como la multiplicación de «fracciones», el hablar de «tonos» etc. Las relaciones 2/4, 4/9; 9/16; (para las medias 3/8 para las grandes; son proporciones que pueden obtenerse derivan de los procedimientos de «composición» de la teoría musical.
6 Algunas de las proporciones vitruvianas que no aparecen en la escala pitagórica son la 5:4, 5:3, 5:6, V2. A continuación meniconamos algunos pasajes a partir del *Vitruve* de Perrault. La (5:4) lib. iv, cap. iv, p. 124 (medidas de un templo: 1+1/4=5/4) Las relaciones 5:6 y 5:3 aparecen en lib. iv cap. vii, p. 136 (templo toscano). Otra relación importante es la 5: 3, que está implícita en la descrpicón del templo redondo períptero (lib. IV, cap VII, p. 140). las relaciones 5:2, 3:2, y la raiz de 2 son manejadas en cap. lib. vi, cap. iv, p. 212 (vestíbulos).
7. Es el caso del Vitruvio de Cesariano (Como, 1521) donde se ofrece un gráfico que ordena según una secuencia de tamaños, las proporciones que se dan como al azar a los peristilos, impluviums, triclinias, exedras pinacote-

cas, etc. Cesariano parece haber seleccionado sólo aquellos casos que se dejaban ordenar según la secuencia musical, tal como había hecho Alberti, aceptando incluir la V2 (1.1, 3:4, V2, 2:3 y 1:2). No parece casual que excluyera las proporciones que también aparecen en Vitruvio como 5:3, y 4:5. De este modo se confería un «estatus» teórico al sistema y se sugería que su «mathesis» era musical.

8. Según Wittkower en la práctica el gusto musical estaba ya reconociendo, que la tercera menor 5:6, la tercera mayor 4:5, y la sexta mayor 3:5 entre otras relaciones de cuerdas eran también consonancias.

9. Quintilano, A.: *Sobre la música*, introducción y notas de Colomer L. y Begoña G. Editorial Gredos. Madrid, 1996, pp. 177 y 180. Se corresponde con el estudio de la obtención de consonancias mediante cuerdas con el helicón, un instrumento según Ptolomeo «hecho por los matemáticos para presentar las consonacias».

10. March,L.: *Op. cit.*, señala por ejemplo como las proporciones 4:3, 3:5 o 5:4 podrían derivar del uso por parte del arquitecto de un triángulo rectángulo construido con las medidas típicas 3,4,5. Desde luego resulta refrescante recordar estas cosas de sentido común. Pero no debe de menospreciarse la importancia que tiene para un teórico humanista crear un sistema. Además la arquitectura para su estatus necesita dar con razones trascendentes, profundas y trascendentes que lo eleven y que de paso expliquen y abarquen las proporciones conocidas por Vitruvio. La teoría musical era uno de los mejores vehículos a los que se podía subir.

11. Un «descubrimiento» que debería de haber hecho meditar de nuevo sobre el origen de las proporciones vitruvianas. ¿Estaban reguladas las proporciones por este sistema?. La cuestión es todavía más intrigante, ya que en Vitruvio su capítulo dedicado a la música (libro v, cap. iv: «De la Musique Harmonique selon la doctrine d'Aristoxene») se ocupa del método de Aristoxeno que corresponde a una filosofía y mecánica extraña a los esquemas de corte «racional» como el de Pitágoras o Platon.

12. La media aritmética: (a+b)/2; la media geométrica V(a.b), y la media proporcional (a.b): (a+b)/2 (una especie de «promedio» de las dos anteriores, ya que podemos escribirla como Va.b x (Va.b:(a+b)/2), esto es, multiplicamos la media geométrica por la razón que existe entre esta misma y la aritmética (razón siempre menor que 1). La tratadística arquitectónica conocía los métodos gráficos eucledianos para obtener una media proporcional entre dos valores dados (una operacion, la raiz cuadrada del producto de dos valores) mucho más difícil de obtener numéricamente con los conocimientos algebraicos del momento. En concreto el método gráfico del cálculo de la media geométrica tendría un gran interés para la resolución de raices cuadradas. Basta hacer que el segmento «a» sea=1 para que el valor de «h» en la construcción geométrica sea igual a la raiz cuadrada de «b». Evidentemente la construcción se basa en construir dos triángulos rectángulos semejantes, que comparten un cateto común «h», y dos catetos distintos respectivamente «a» y «b». Los dos triángulos son semejantes porque sus hipotenusas son perpendiculares. Entonces «a» es a «h» como «h» es a «b», así pues: a:h=h:b, y por tanto, h=Va.b.
ddSirve esta construcción para muy diversos problemas como la reducción de rectángulos a cuadrados (la solución de Serlio), mientras que Palladio, ve en ello una forma de proporcionar las alturas de una habitación.

13. Incluso se podía encontrar un lugar a la relación irracional V2 como aproximación al semitono entre la cuarta (4:3) y la quinta (3:2) con lo que se completaba la racionalidad del sistema, aunque V2 es en teoría otra media más en el esquema: la media geométrica o raiz del producto 1x2; no aparece en los sistemas griegos pitagóricos por ser un número irracional, inexpresable como relación de enteros, ni tampoco en Alberti, donde se da una aproximación (7:5).

14. Vitruvio sólo da medias aritméticas: livre v, chap ii, p 155 da la regla aritmética para alturas de espacios como el tesoro público. *Idem*, livre vi, chap v, p. 215 grandes salas.

15. En Zarlino: *Le Instituzioni Harmoniche*. Venecia, 1558, pp. 113-114. También en otra obra posterior *Dimostrationi harmoniche nelle quali realmente si trattano le cose della musica & si resolvono molti dubii d'importanza*...Venecia 1571, pp. 163-168. (cap. 30, cuarto libro de su Suplemento).

16. Zarlino: *Dimostrationi*, libro 3, prop. 11. Barbaro, D.: *I Diecie Libri Dell'Architettura*. Venecia, 1567, libro ix, cap. iii, (ed. Venecia, 1567, pp. 354-366) trata extensamente del aparato de Arquitas, y traduce el texto explicativo de Eratosxene. En castellano puede leerse la traducción en Vera, F.: *Científicos griegos*. Aguilar, Madrid, 1970.

17. Es poco creible que Scamozzi propusiese la escala sólo por su faciliada. Para el la arquitectura es una «ciencia», distinta de lo empírico y rutinario, que posee una «teoría» y unos principios generales que se pueden transmitir y demostrar: «scia scientia (come dice Platone), per la qual cosa, poiché essa ha le sue dimostrazioni, certe e indiscutibile, perció si possono insegnare, e dimostrare come e costume e delle Matematiche, e simili altre, i quali sono tutti i segni del sapere, come dice Aristotile». Desde este punto de vista no parace razonable pensar que Scamozzi tuviese alguna importante razón teórica para cambiar la escala de habitaciones Palladiana

18. Mersenne, M.: *Harmonie Universelle*. Paris, 1636. Mersenne se adelanta a publicarla antes que pueda hacerlo el propio Descartes: «par le moyen d'une seule parabo-

le, du cercle, & de la ligne droite,.., duquel depend la duplication du Cube si celebre, & qui a tant esté recherchée par les Geometres Anciens & Modernes». Y lo pone inmeditamente práctica para construir la escala como una progresión geométrica y diversos instrumentos que se acomode a ella. Ver vol.III, p. 384. También livre ii, prop. vii, pp. 65, y ss. sobre cómo dividir la octava en doce semitonos iguales, y cómo determinar dos medias proporcionales entre dos líneas y duplicar el cubo. Vuelve en vol. III, livre iv, prop. vii p. 199 a estudiar los trastes de la viola donde da una «nouvelle maniere pour le diviser, laquelle depend dos onze moyennes proportionnelles

19. Las ideas de Zarlino y otro aparecen comentadas en la *Harmonie Universelle*: vol III, livre, corolario de la prop. vii, p.70 «de sorte qu'il y a pres de 60 ans que l'invention de demy-tons esgaux d'Aristoxene a esté renouvellée par ces deux Musiciens.» También en el vol.iii, livre iv, prop. xvii, p. 226 y ss.
20. Podemos citar a Brouncker (el primer presidente, que la divide en 17 semitonos en función de la proporción aurea, algo que ya había intentado Salinas); Christopher Simpson (1667) y Newton, (ambos utilizan el «arma» de moda, los logaritmos, también William Holder (1693) (que conocía la obra de Mersenne y coquetea con esta división); los estudios de Alexander Malcom (1721) Por el diccionario de Harris (en el epígrafe «music» de su *Lexicum Technicum*, II donde se resumen las teorías principales y los autores más significativos) sabemos que en este momento es costumbre en el diseño de los órganos considerar la sucesión de notas como una una progresión.
21. Mersenne, *op. cit.* vol i, p.43.
22. Shea, W.R.: *La magia de los números y el movimiento. La carrera científica de Descartes*. Alianza. Madrid, 1993, cap. 2.
23. *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, c. 1638, en *Galileo*. Edición de Víctor Navarro. Península. Barcelona, 1991, p. 271: «los espacio recorridos en tiempos iguales por u móvil que parte del reposo y cuya velocidad crece según el crecimiento del tiempo son entre si como los números impares a partir de la unidad 1,3,5».
24. Mersenne, *op. cit.* vol i, p. 21.
25. *bid*, vol iii, p.37.
26. *Ibid*, vol ii, p. 1; también vol i, p, 39.
27. Consultado en *Resolution des Quatre Principaux Problemes d'Architecture par M. Blondel et Ouvrages de Mathematique de M. Frenicle*. Amsterdam, P. Mortie, 1736. «Premier Probleme resolu. Decrire Géometriquement en plusieurs manières, & tout d'un trait, le contour de l'enflûre & diminution des Colonnes». En el *Cours* vuelve sobre la cuestión volviendo a citar un método «pour se servir de la maniere de Galilée» basado en la parábola (voli, sec. part. liv i
28. Blondel, *Cours*, vol ii, cinq part. liv v, chap xiii, p. 761 : el abate de S. Hilarion «a reuit par un travail subtil & extraordinaire les mesures des parties de l'Architecture à la seule proportion Geometrique...le bel effet que les deseins qu'il y a tracez font à la veüe, me fait presumer que les regles sur lesquelles il les a copnstruites ne sont pas sans fondement de verité dans la nature».
29. *Ibid.*, vol ii, cin. part., livr v, chap vi-ix.
30. Perrault, Cl.: *Ordonnance des cinq espèces de colonnes selon la méthode des Anciens*. Paris, 1683.
31. He utilizado la traducción Castellana: *Compendio de música*, Introducción de Gabilondo A. y traducción y notas de Flores P. y Gallardo C..Tecnos, Madrid 1992.
32. *Reglas para la dirección del espíritu*, en Descartes,R.: *Obras escogidas*, traducido por de Olaso, E. y Tomas Zwanclk, T. Editorial Charcas, Buenos Aires, 2.ed 1980. Vease en particular las reglas vi, vii, xi y xiv.
33. Descartes, R.: *Compendio*, p. 60.

El *Proyecto de Restauración de Varios Pilares, Bóvedas y Ventanages de la Catedral de Sevilla* de Adolfo Fernández Casanova de 1884

Juan Carlos Gómez de Cózar
Pedro Gómez de Terreros Guardiola

Las desamortizaciones que se llevaron a cabo en la España del XIX trajeron consigo la pérdida de numerosos conjuntos monumentales de la arquitectura española. En otros casos, más afortunados, la desaparición de las fuentes de ingresos de parroquias, conventos, etc, causó el total abandono de estos monumentos que, en la mayoría de los casos no eran, por entonces, ejemplo de un buen mantenimiento. En muchos de ellos, esta falta de recursos supuso la ruina de los monumentos. Afortunadamente, hacia el final del siglo pasado, la Administración estatal o local, la Monarquía, las Academias, o incluso algunos particulares, comienzan a tomar conciencia del mal estado del patrimonio y, haciendo frente al «herido orgullo» de la Iglesia, surgen donaciones, ofrecimientos y otras ayudas que, si bien fueron insuficientes, sirvieron para frenar la alarmante degradación que ya habían sufrido algunos monumentos. Lamentablemente, estas ayudas sólo alcanzaron a algunos edificios; otros los hemos perdido para siempre.

Es es este contexto en el que se crea una Junta de Obras dependiente de la Real Academia de San Fernando que en diciembre de 1880 encarga a Adolfo Fernández Casanova garantizar la estabilidad del edificio de la Catedral de Sevilla. Para ello, entre 1882 y 1888 realizó seis proyectos destinados a reconstruir diversos elementos del crucero, comenzando por un pilar cercano a las capillas de las Doncellas y acabando por las bóvedas más próximas a la de Antigua.[1]

En su esquela, el 11 de agosto de 1915, se le cita como: «Arquitecto, catedrático jubilado de la Escuela Superior de Arquitectura, Caballero de la Gran Cruz de Alfonso XII, Vocal de la Asamblea General de la misma orden, Comendador de Isabel la Católica, Jefe Superior Honorario de la Administración Civil, Académico de número de la de Bellas Artes de San Fernando, y de la de la Historia, Inspector de la Junta Consultiva de Construcciones Civiles».[2]

Entre 1881 y 1889, en que estuvo al frente de la Junta de Obras, el arquitecto trabajó en distintas zonas de la Catedral y la Giralda, dejando tras de sí una numerosa documentación que podemos consultar, por ejemplo, en la academia de Bellas Artes de San Fernando, el Archivo General de la Administración o en el Archivo de la Catedral de Sevilla. Al inventariarse el fondo documental de la Junta de Obras en este último archivo y contemplar los proyectos firmados por Casanova, encontramos que éstos son muy extensos, exhaustivos y detallados —máxime si consideramos su fecha de redacción— denotando una preocupación por los estudios previos y metodo-

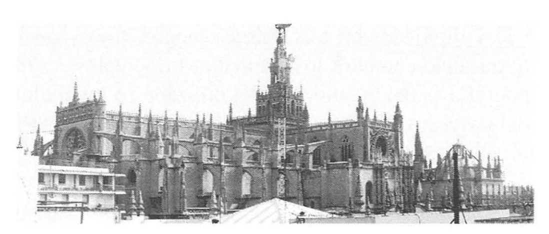


Figura 1
Exterior de la Catedral de Sevilla

lógicos ciertamente inusual. Dentro de uno de estos proyectos, el que nos ocupa,[3] los planos llaman poderosamente la atención por dos razones: su tamaño (el mayor de ellos de 8,85×1,03 metros) y su contenido (el cálculo estático de pilares y bóvedas). Al examinar la memoria, hallamos que ésta es igualmente o incluso aún más insólita: se explican los cálculos.

En los otros proyectos realizados por el autor y en los posteriores de finales de siglo XIX inicios del XX para la misma Catedral no se vuelve a repetir esta particularidad. Como es bien sabido, en agosto de 1888 ocurre la catástrofe, tras la sustitución de un pilar adyacente unos meses antes, un pilar del crucero de la catedral se viene abajo, arrastrando tras de sí la parte de las bóvedas que soportaba.

Las actuaciones que hoy en día se están llevando a cabo en los pilares de los pies en la Sede Sevillana, los avances informáticos aplicados al cálculo estructural, las posibilidades de establecer unas condiciones de partida precisas y la posibilidad de confrontar los resultados con las conclusiones de Fernández Casanova, nos invitan a reconstruir el proceso, e intentar aclarar, o al menos ayudar a ello, las causas del derrumbe.

El proyecto

El proyecto está realizado enteramente a mano. Ésto, que por la fecha de redacción es evidente para la delineación y dibujos, es menos habitual en los textos de memoria y mediciones. La portada del proyecto está orlada con guirnaldas y otros motivos, y contiene una *miniatura* de la Giralda, con el cuerpo de campanas sustituído por un hipotético remate almohade. Las portadas de los distintos apartados están decorada con filigranas y tipografía gótica. Los textos, con primera letra capital, tienen todas las páginas numeradas en el centro de su cabecera. Los planos son de tamaño variable y están realizados en papel tela y dibujados en tres colores: negro, rojo y azul, destacando con ellos los elementos principales. La tipografía es del mismo tipo del utilizada en los títulos del proyecto. Toda esta documentación, se encuentra dividida en varios apartados. El índice del proyecto es, mas o menos, el que sigue:

Se inicia con la *Memoria Descriptiva*[4] que consta de tres puntos: *Introducción*, *Examen de la disposición general del monumento* y *Obras de restauración*, quedando explicadas en la introducción, las causas que han motivado la redacción del proyecto y sus antecedentes.

El *Examen general del monumento* queda, a su vez dividido en varios puntos. En el primero, «Investigación estática de sus fábricas», realiza el «planteo del problema mecánico», estudia la «disposición estática del monumento», e investiga los «procedimientos estáticos mas ventajosos y sus aplicaciones para la verificación estática del monumento». En el segundo, aborda el «sistema de construcción adoptado en el monumento», finalizando con el «resumen general del análisis del monumento».

En el segundo capítulo, *Obras de restauración*, analiza los métodos y procedimientos de ejecución de «apeos y encimbrados necesarios», especificando la «disposición de las carpinterías, apeos de pilares, apeos auxiliares de formeros bajos, enlace de los diversos sistemas de carpintería, medios auxiliares destinados a la saca y reposición de pilares, complemento de estas carpinterías, precauciones necesarias para el armado, estabilidad de las carpinterías, apeos de pilares, apeo auxiliar para reconstrucciones de formeros, apeos de hierro y apuntalado exterior del muro de ventanages altos». Es este mismo apartado especifica las «obras de reconstrucción», y mas concretamente, la «elección de materiales, desmontes, ejecución de las obras de reconstrucción de pilares, bóvedas, ventanages, antepechos de tribunas, reparación provisional de azoteas, cubiertas provisionales, medios auxiliares, botiquín, sistema de ejecución de las obras y alcance general de las obras».

El tercer y último punto, abarca las *Medidas preventivas necesarias*, que más concretamente son el «encinchado de la bóveda del crucero y la vigilancia constante de las diversas bóvedas».

Los planos[5] que contiene son cinco. El primero, *Estática de las construcciones,* incluye «los trazados grafostáticos de las fábricas del Monumento» en planta y secciones, el «despiezo que ofrecen los enjarjes de las altas bóvedas» y un estudio de la «estabilidad de apeos auxiliares de formeros bajos» con dibujos de sus carpinterías y arcos de hierro.

El segundo, *Apeos y encimbrados relativos a la reconstrucción de pilares y bóvedas de colaterales y capillas*, representa la *Planta general* y tres «cortes» de la misma (A-B, C-D y E-F).

El tercero se titula *Apeos y encimbrados pertenecientes a la reconstrucción de formeros bajos* e in-

cluye dos secciones (G-H y A-B) de la planta general y esta *Planta general.*

El cuarto, *Detalles de construcción*, dibuja el «apeo auxiliar del formero inferior», el «emparrillado y coronación del apeo de un pilar» y los «tipos de piezas metálicas especiales».

Por último, el quinto plano, *Principales ventanages*, representa las *tracerías de los bastidores de piedras que hay necesidad de reconstruir* y el *estado actual de sus imagenerías.*

El *Pliego de Condiciones* queda dividido en tres partes: la primera, *Organización y marcha de los trabajos*; la segunda, *Apeos y encimbrados,* con tres capítulos: *Descripción de las obras, condiciones a que deben satisfacer los materiales y su labra,* y *modo de ejecución de las obras*; y la tercera, *Obras de fábrica*, que se subdivide en los mismos apartados que el punto anterior.

El proyecto se cierra con el *Presupuesto.* Para el cálculo del costo de la obra se realizan las siguientes separaciones:

I. Volúmenes y pesos de las diferentes obras. En él se hallan la cubicación de maderas de apeos y encimbrados: apeos de pilares y de arcos principales de colaterales, encimbrado de bóvedas de colaterales, encimbrado de bóvedas de capillas, apeo destinado a la reconstrucción del formero, pisos de andamio, cubiertas provisionales, estado general de los hierros empleados en las carpinterías, apeos de pilares y de arcos principales de colaterales, encimbrado de bóvedas de colaterales, encimbrado de bóvedas de capillas apeo auxiliar destinado a la reconstrucción del formero inferior arbotantes, cubicación de sillería en pilares y bóvedas, cubicación de la cantería de ventanages y cubicación de antepechos de tribunas.
II. Precios simples y compuestos. Separando los cuadros de precios de jornales y materiales (jornales de operarios, medios de transporte, precios de materiales de las obras principales y precio de las piezas metálicas auxiliares) de los precios compuestos (detalles de unidades de obra de carpintería, detalles de unidades de obra metálicas y detalle de unidades de obra de fábrica).
III. Avance general. En el que aplica los cubicajes y precios arriba calculados a las partidas concretas de las obras. Estas partidas son: herramientas y medios auxiliares de construcción, aparejos y medios auxiliares de elevación, reconstrucción de los dos formeros del pilar del evangelio y de la bóveda colateral continua, reparación del pilar continua a la Capilla de la Antigua y del intermedio del coro, reconstrucción de bóvedas de capillas de Scalas y del Cristo de los Afligidos, reconstrucción de varios bastidores de piedra de ventanages altos, reconstrucción de antepechos de tribunas, encimbrado de la bóveda del crucero, partidas especiales y, finalmente y como colofón, el botiquín.

Acaba este presupuesto —y el Proyecto— con un *Resumen del avance general* del costo de las obras.

Como podemos observar, el proyecto es complejo y completo. La documentación técnica está muy desarrollada en su diversos aspectos: cálculos, mediciones, materiales, sistemas de construcción, mediciones, etc. La extensión del proyecto nos permite analizarlo desde muy diversos puntos de vista, tarea que excede con creces el contenido que se permite para una comunicación. Por ello, en la presente, nos centraremos solamente en los aspectos mas técnicos que se corresponden con el desarrollo de los métodos de cálculo elegidos y sus resultados finales. Eludimos, pues, todo el problema de las cimbras y apeos, obras de reconstrucción, medidas preventivas, presupuestos, ventanaje tribunas etc., es decir, nos limitaremos a estudiar lo consignado en el *Examen de la disposición general del monumento.*

Como vemos, el texto comienza con la *Memoria descriptiva*, se desarrolla posteriormente en diversos sub-capítulos. La *Introducción*, como hemos señalado, indica claramente y, a groso modo, los motivos, objetivos y alcance del proyecto; la metodología adoptada se desarrolla en varios puntos del primer apartado. El objetivo es «garantizar la conservación de nuestras mas preciadas joyas arquitectónicas», y los motivos que originan este documentos son los «marcados movimientos de flexión en parte de los pilares correspondientes a las altas naves, ofrece quebrantos y dislocaciones de mas o menos consideración en la mayoría de sus bóvedas y denota la destrucción por aplastamiento de parte de la sillería que refrenta sus diversas fábricas». Se presume, pues una alteración del estado de equilibro de las bóvedas y un agotamiento del material.

El análisis del monumento está contemplado desde la doble perspectiva formal y material necesaria para

«adquirir los datos necesarios para el análisis del Monumento», ésto es, se establece la forma y dimensiones de los distintos elementos, y además se estudian las disposiciones, ensambles y resistencias de los diversos materiales que los componen. Lógicamente en el conjunto de la Catedral, las reparaciones serían innumerables, por lo que se ciñe —solamente— a «la reconstrucción de los enjarges y arcos que cargan sobre el pilar del Evangelio, así como la bóveda colateral contigua, otros dos pilares uno del coro y otro próximo a la Capilla de la Antigua; reconstrucción de las bóvedas de las capillas e Escala y del Cristo de los Afligidos, y por último reconstrucción completa de los bastidores de piedra de varios ventanages altos». De todos estos objetivos, a la jora de determinar las características mecánicas, acude al lugar mas desfavorable, desarrollando un pilar tipo entre las naves central y una de las laterales que es el que se representa en el primer plano «Estática de las construcciones» y que contiene los cálculos grafostáticos que estudiamos a continuación.

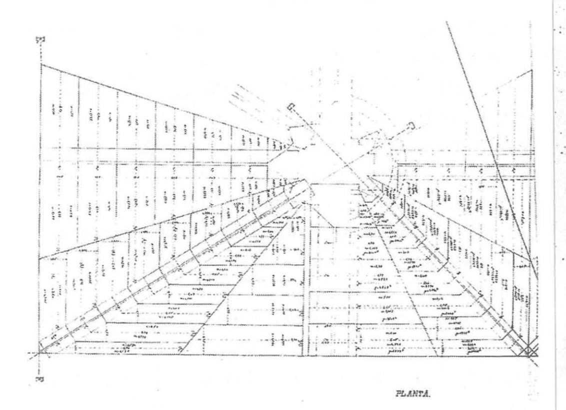


Figura 2
División en planta de las bóvedas

El cálculo

La memoria que acompaña al proyecto, en la que se describen tanto las hipótesis y las operaciones realizadas en el cálculo como las obras de reparación, está escrita con tal rigurosidad que más parece un trabajo con carácter divulgativo para afán de establecer un modelo, que una descripción concreta y detallada del proceso de cálculo realizado.

En el primer apartado, que es el que vamos a desarrollar en esta comunicación, se realiza una descripción de los métodos de cálculos conocidos por el autor, exponiendo su idoneidad y justificando el adoptado (*modernos métodos grafostáticos*).También, se describe el modelo utilizado para la generación de este tipo de bóvedas. Según Fernández Casanova, el tipo de la Catedral procede de las bóvedas de arista con geometrías basadas en el cilindro: cada bóveda se divide en cuatro «bovedillas» que apoyan en los arcos de forma y ojivos y que se comportan como apeos permanentes. A partir de esta descripción, utilizando una planta centrada (figura 2) en el pilar a analizar, divide los tramos de la bóveda en las fracciones que supone apoyadas en los diferentes arcos. Obtenidas así las cargas, estudia la estabilidad por separado de cada uno de los arcos, incluidos los arbotantes, y compone todas las reacciones (horizontales y verticales) en un modelo plano (figura 3) en donde se comprueba la estabilidad del soporte analizado.

Aparentemente, y como conclusiones de este cálculo, se establece que el pilar presenta estabilidad suficiente (tal como se observa en la figura 3, la línea de empujes final en el soporte analizado, queda dentro de su sección, y por lo tanto éste no girará, por lo que se considera estable), y que los arcos ojivos funcionarían mejor con mayor sección.

Como puede observarse, la precisión y rigurosidad de sus cálculos es, aparentemente, absoluta. Sin embargo, tal como ocurriría hoy en día, es necesario realizar una serie de aclaraciones en cuanto a las hipótesis de partida.

En primer lugar, la geometría de las bóvedas. Es cierto que la geometría de las bóvedas góticas, recuerda a las de arista que aparecen por intersección de dos cañones cilíndricos. Sin embargo, en su trazado estos dos tipos de bóvedas no tienen mucho en común, ya que las segundas se basan en la imposición de una geometría determinada para los ojivos (en el caso que nos ocupa semicircular) y para los arcos de forma (formeros y perpiaños), trazando el plemento como una superficie reglada que no responde, evidentemente, a una superficie cilíndrica.

Desde este punto de vista, considerar que el plemento se divide en *bovedillas* que apoyan en los nervios es demasiado simplificado, teniendo en cuenta que las bovedillas resultantes son de un tamaño con-

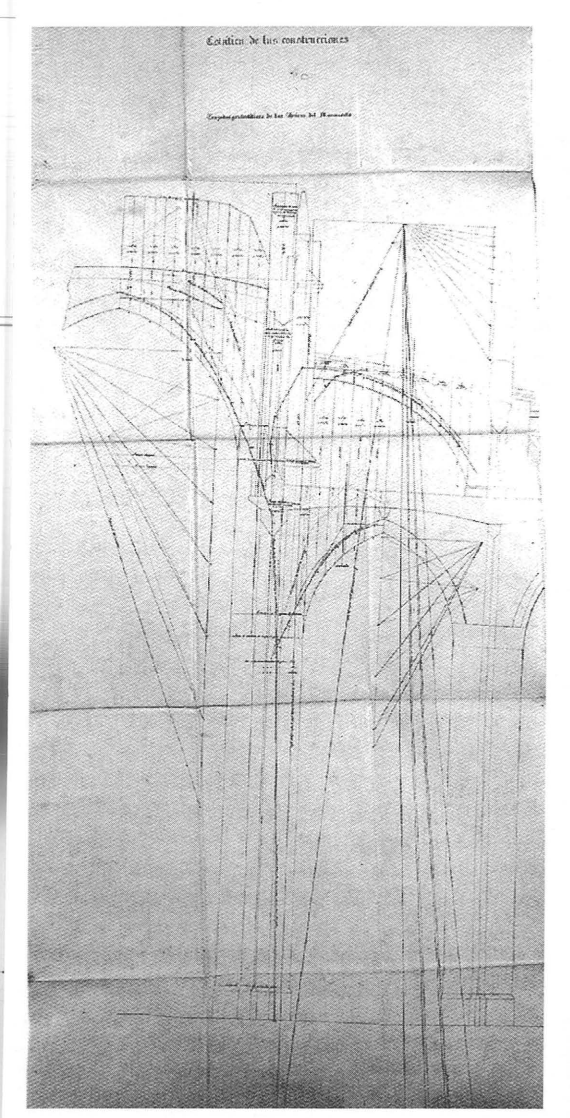


Figura 3
Cálculo de la estabilidad del soporte

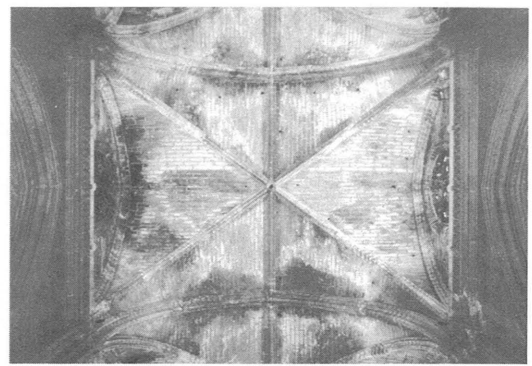


Figura 4
Bóvedas altas (nave central)

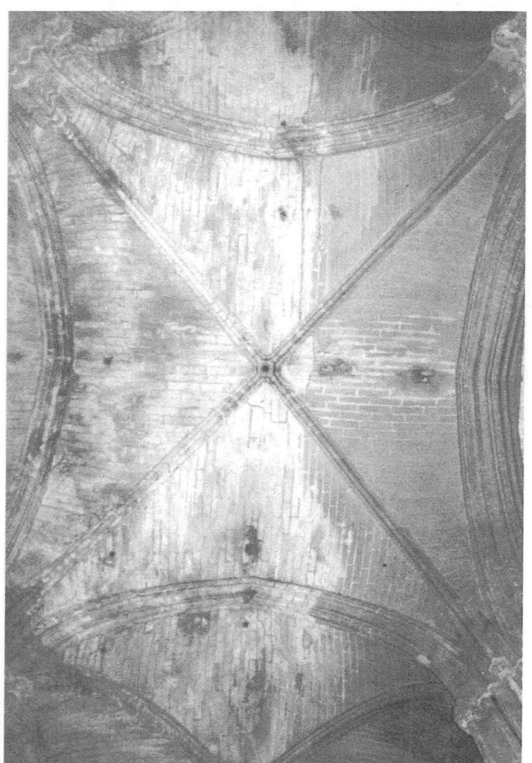


Figura 5
Bóvedas bajas (naves colaterales)

siderable. En casp de que aparecieran más nervios aparte de los ojivos y espinazos (terceletes, ligaduras, e incluso combados), sí sería más acertado suponer que el plemento apoya en éstos, ya que la proporción nervios/plemento aumenta y, de cualquier modo, el cálculo de los esfuerzos en los nervios requeriría un tratamiento espacial y no bidimensional como el realizado en el plano.

Desde nuestro punto de vista, el plemento se comporta como una superficie continua, que concentrará esfuerzos en donde se produzcan cambios de curva-

tura. Esto ocurre en el encuentro (plegadura) con los ojivos, pero no en el encuentro con los arcos perimetrales, por lo que considerar que éstos reciben una carga proporcional no es correcto. Las figuras 6 y 7, representan los empujes que se producen, tanto en las bóvedas altas como en las bajas.

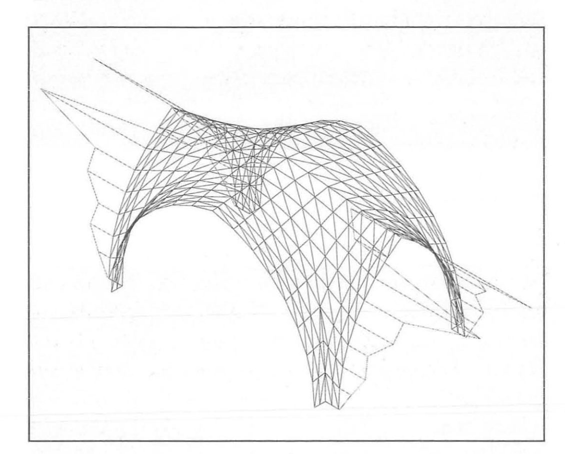


Figura 6
Reacciones horizontales en bóvedas altas

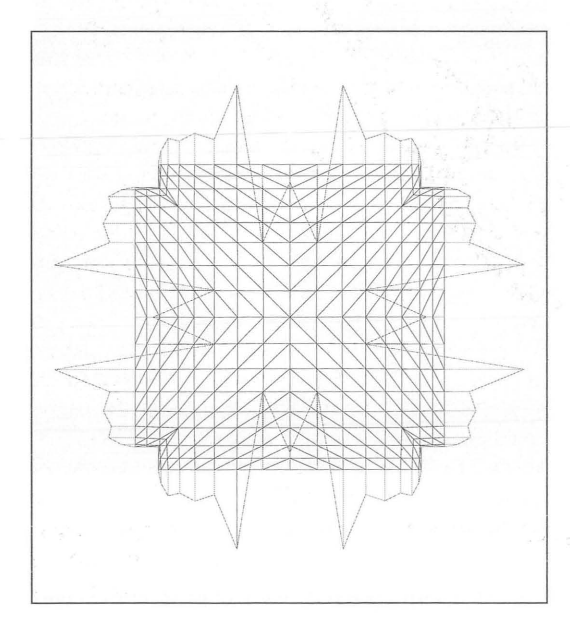


Figura 7
Reacciones horizontales en bóvedas bajas

Como se observa, los empujes presentan una distribución que evidencia la aparición de tracciones en zonas próximas a la clave de los formeros, por lo que en estos puntos, el plemento tiende a separarse. A partir de estas reacciones, puede obtenerse una resultante, que por la simetría del problema, aparece centrada sobre el pilar, a una distancia determinada del arranque de las bóvedas.

En los dos casos, se ha comprobado, que las reacciones aparecen en una posición situada en torno a la mitad de la altura de los arcos formeros. Si se observa la figura 8, en la que aparece una sección transversal de la catedral, puede notarse como los arbotantes están situados a esta altura, por lo que, a priori, parece que están preparados para recibir los empujes de las bóvedas altas.

Las reacciones del modelo de cálculo establecido por Fernández Casanova, con sus puntos de aplicación, implican un desfase en altura entre los arbotantes y las bóvedas altas, por lo que hay un tramo del

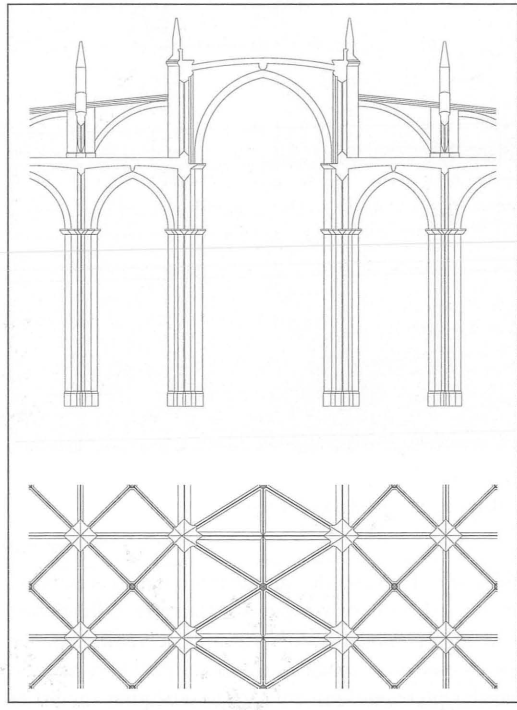


Figura 8
Sección transversal y planta (parciales) de la Catedral de Sevilla

pilar, a una altura considerable, que está recibiendo una carga horizontal sin compensar hasta que no aparecen los empujes de las bóvedas, mucho más abajo, situaciónque no parece lógica.

Para determinar la influencia del arbotante, frente a cargas estáticas y permanentes, se han establecido dos modelos de cálculo como elementos del comparación con el cálculo realizado. En el primer modelo (figura 9) no se tiene en cuenta la influencia del arbotante y en el segundo (figura 10) sí.

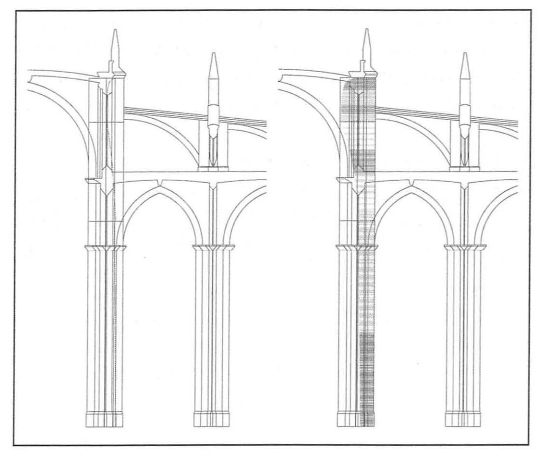


Figura 9
Línea de empujes y distribución de tensiones en el soporte analizado, sin influencia del arbotante

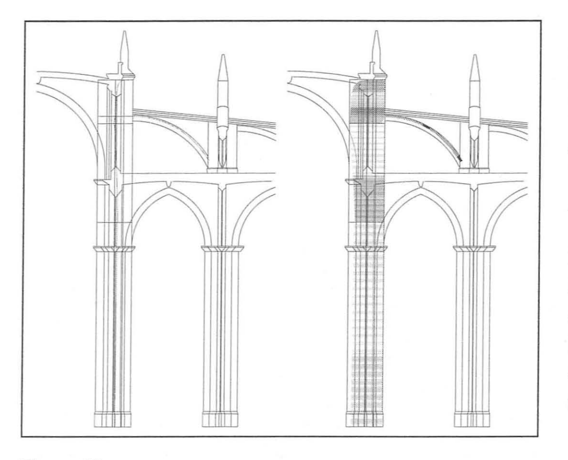


Figura 10
Línea de empujes y distribución de tensiones en el soporte analizado, con influencia del arbotante

Desde nuestro punto de vista, los resultados son concluyentes. En ambos casos el soporte es estable. Por lo que, como en muchos otros edificios góticos, los arbotantes justifican su presencia por las acciones de viento, o por si aumentan las reacciones horizontales como consecuencia del estado de fisuración de las bóvedas o movimientos en el soporte.

Además de los dos modelos anteriores, puede obtenerse el grado de seguridad del estudio realizado por Fernández Casanova, que a la vista de los resultados, obtiene conclusiones bastante más desfavorables.

Conclusiones

Los resultados del estudio de Fernández. Casanova, evidencian que la estabilidad del soporte no está comprometida, aunque sus hipótesis de partida son incorrectas. La estabilidad del conjunto, obtenida con un cálculo espacial, parece ser mayor que la obtenida inicialmente.

Las tensiones en la base del pilar (15 Kp/cm^2), se estiman directamente dividiendo la suma de los pesos de un pilar entre el área de su base, que estima como muy suficiente, sin contar con la excentricidad de la carga. En el estudio paralelo realizado, se han obtenido tensiones máximas en las bases de los soportes en torno a 10 Kp/cm^2 (1 Nw/mm^2), teniendo en cuenta la excentricidad de la carga y con diferentes hipótesis para la composición de los pilares.

Evidentemente, si han llegado hasta hoy, significa que poseían resistencia suficiente. De todas formas, la falta de continuidad en la fábrica, deficiencias de los morteros en las uniones, desacoples en los enjarjes y la heterogeneidad de los rellenos, pueden provocar fisuras parciales, en diferentes zonas del conjunto.

Los estudios realizados no han contemplado acciones eólicas, cedimientos de los apoyos o pérdidas de resistencia en los materiales, por procesos de degradación de la piedra, o simplemente por humedad en la base de los pilares. Sería necesario tenerlas en cuenta con el fin del que los resultados fueran del todo concluyentes.

NOTAS

1. Todo el proceso acerca de la venida de Adolfo Fernández Casanova a Sevilla y las obras que llevó a cabo en su Catedral se relata en Jiménez Martín, A. y Gómez de Terreros Guardiola, M. V.: *El espíritu de las fábricas antiguas. Escritos de Adolfo Fernández Casanova sobre la Catedral de Sevilla (1888-1901)*, Fundación Fidas, Sevilla, 1999.
2. A.C.S., Fondo José Gestoso y Pérez, Cartas dirigidas al Exmo. Sr. D. José Gestoso (..) desde el año 1889 al 1914 (14 volúmenes), Sig 113-6bis-1-4 y también 113-6bis-18-42, 1882 a 1915, Cartas a Fernández Casanova, núm. 228.
3. Este proyecto se titula *Proyecto de restauración de varios pilares bóvedas y ventanages. 1884*. La copia se encuentra en el Archivo de la Catedral de Sevilla, sección Fábrica, Junta de Obras, leg. 41 exp. 2.
4. Las cursivas, en este punto, indican la literalidad del texto.
5. El índice de planos proviene de la copia del Proyecto existente en el A.C.S.

BIBLIOGRAFÍA

Falcón Márquez, T., *La Catedral de Sevilla*, ed. Caja San Fernando, Sevilla, 1994.

Fernández Casanova, A., *Memoria sobre las causas del hundimiento acaecido el 1º de agosto del888 en la Catedral de Sevilla*, Sevilla 1888.

Gómez de Cózar, J.C.: *Análisis de estructuras espaciales de fábrica (bóvedas y cúpulas) en construcciones históricas*. Beca resolución 19/05/1998 de la Dirección general de la Vivienda, ña Arquitectura y el Urbanismo.

Heyman, J.: *Teoría, historia, y restauración de estructuras de fábrica*. Ed. Juan de Herrera. Madrid, 1995.

Jiménez Martín, A. y Gómez de Terreros Guardiola, M. V.: *El Espíritu de las Antíguas Fábricas. Escritos de Adolfo Fernández Casanova sobre la Catedral de Sevilla (1888-1901)*. Ed. Fidas, Sevilla, 1999.

Jiménez Martín, A. y Pérez Peñaranda, I.: *Cartografía de la montaña hueca: notas sobre los planos históricos de la Catedral de Sevilla*, ed. Cabildo Metropolitano de la Catedral de Sevilla, Sevilla, 1997.

Quintas, V.: *Estructuras espaciales en la edificación. Análisis y cálculo*. Ed. Rueda. Madrid, 1996.

Rodríguez Liñán, C.; Gómez de Cózar, J.C. y Rubio de Hita, P.: «Sobre plementos, témpanos y ligaduras. Bóvedas resistentes y elementos decorativos». *II Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. La Coruña. Octubre de 1998.

Rubio Moreno, P. y González Ferrín, I.: *Archivo de la Santa Metropolitana y Patriarcal Iglesia Catedral de Sevilla: Inventario general*. Ed. Fundación Ramón Areces, Madrid,1998.

Geometrías concertadas. Las cabeceras de las iglesias gótico-mudéjares de la ciudad de Sevilla

Juan Carlos Gómez de Cózar
Carmen Rodríguez Liñán
Paloma Rubio de Hita

Tras la conquista de Sevilla, en 1248 por Fernando III, durante su reinado y los posteriores de Alfonso X y Pedro I, se construyen templos por toda la ciudad. Una serie de causas provocan que estas nuevas edificaciones, muchas erigidas sobre construcciones musulmanas, demostrando su valor emblemático, se construyan según las directrices de lo que posteriormente se denominó *mudéjar sevillano*.

En primer lugar, los materiales propios del lugar hacían difícil la tarea de construir espacios abovedados, ya que no había piedra de buena calidad y lo que abundaba era el ladrillo y la madera. Por otro lado, los modos de hacer del lugar, ejercitados en carpintería y albañilería, necesitaban un tiempo para adaptarse a los sistemas abovedados. Además, dada la despoblación a la que se vieron sometidos los territorios conquistados, los monarcas permitieron que la población musulmana, en muchos casos, permaneciera en las ciudades, por lo que los artífices de las obras, casi siempre, tenían esta procedencia. Esta mezcla de culturas enriquece a los templos que se construyen. En todos los casos, se elige la solución abovedada para las cabeceras de las iglesias y las naves se resuelven con cubiertas de madera.

El tipo de bóveda elegido para la solución de cabeceras es de nervaduras, con diversas variantes, como ya se verá. De las tres naves, normalmente, la principal se cubre con estructuras de *par y nudillo* y las colaterales a *la molinera*.

La figura 1 representa en planta la mayoría de las cabeceras, que hoy se encuentran, en su estado actual. Todas están construidas entre finales del siglo XIII y finales del XIV. Hay un hecho diferenciador en cuanto a la forma que hoy presentan; en 1356, un terremoto daña muchas de estas cabeceras y son reedificadas como es el caso de San Miguel, Omnium Sanctorum, Santa Marina y San Román.

Geometrías utilizadas y aspectos constructivos

Todas las cabeceras analizadas presentan una forma poligonal de cinco lados, basada en el octógono, tras uno o dos tramos de bóvedas de crucería de planta rectangular, construidas con fábrica de ladrillo y mortero de cal. En la mayoría de los casos, tanto las claves del tramo poligonal como las de los tramos rectangulares están a la misma altura, por lo que los nervios ojivos, no son semicírculos completos.

De igual modo, esta desproporción también se evidencia en los arcos formeros, de bastante menos luz que los perpiaños que, para llegar a una altura de acuerdo, se peraltan. Su geometría, aunque hay variedad, suele responder a arcos apuntados equiláteros peraltados.

Por lo general, los arcos perpiaños se resuelven con arcos apuntados trazados desde el tercer punto. Todas las claves están resaltadas. Las nervaduras, resueltas en piedra, confluyen en un capitel al nivel de arranque de los arcos formeros, perpiaños y ojivos, que descansa sobre un pilar, también de piedra, de débil sección.

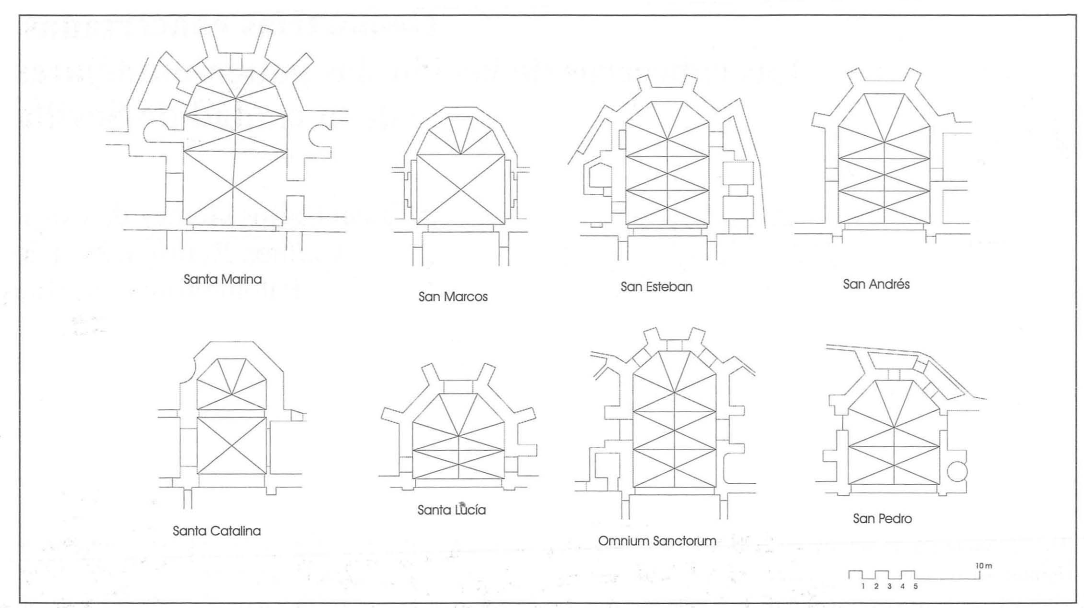


Figura 1

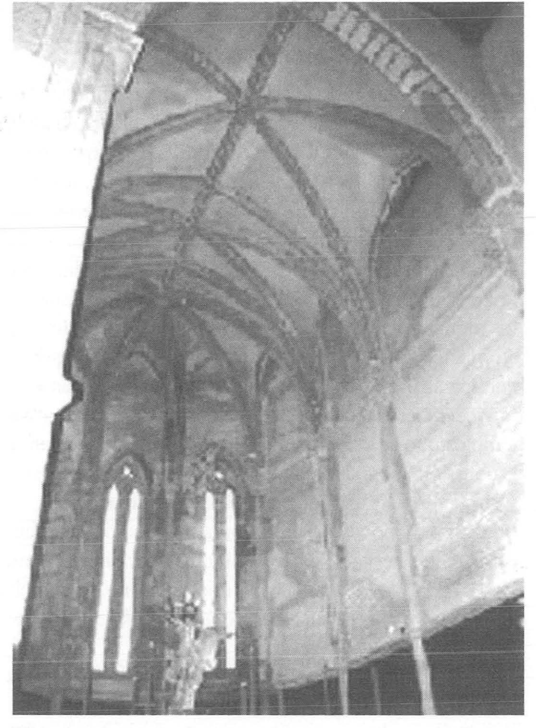
La altura de las claves de los arcos formeros dista de la de los ojivos alrededor de 1/4 de la altura de éstos, por lo que el espinazo que las une es curvo y, en consecuencia, la superficie de los témpanos que se trazan entre los formeros y los ojivos, responde más a una *superficie de traslación* de esta curva sobre los arcos de apoyo que a una *reglada,* como ocurre en el resto de casos. Este aspecto será predominante en su comportamiento mecánico.

Por último, destacar que en los casos en los que hay continuidad entre el tramo poligonal y los rectangulares, hay un nervio de espinazo, horizontal, uniendo las claves de todos los tramos.

Para el análisis los ejemplos destacados se han dividido en tres grupos:

Grupo I. Continuidad entre el tramo poligonal y los rectangulares

A este grupo pertenecen las cabeceras de St. Marina (figura 2), S. Andrés, S. Esteban, St. Lucía, S. Pedro y Omnium Sanctorum. Dentro de este grupo hay diferencias entre las que presentan uno, como S. Pedro y St. Lucía, o, como el resto, dos tramos rectangu-


Figura 2

lares. Para el análisis, se han levantado varios modelos utilizando diferentes geometrías para los arcos formeros (figura 3).

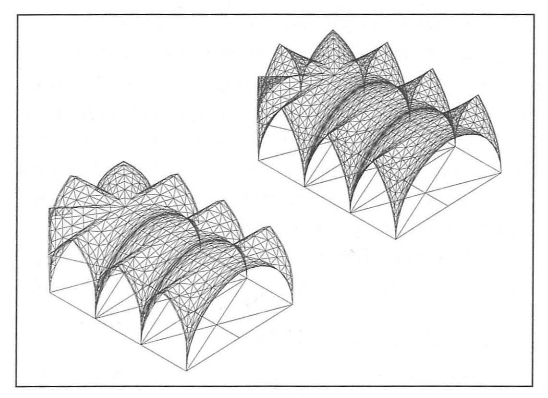


Figura 3

Para el análisis mecánico, se ha elegido la cabecera de St. Lucía (figura 4) que sólo presenta un tramo rectangular. Aunque en la actualidad esta iglesia no se conserva, su forma sí es representativa. Como la cubierta, en este caso, está resuelta con estructura de madera, independiente de las bóvedas, sólo se considerará el estado de cargas de peso propio.

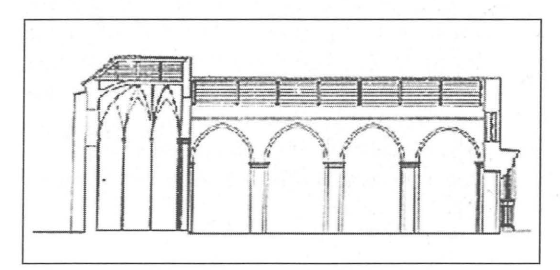


Figura 4

Siguiendo las directrices que marcan las hiladas que componen el plemento, se ha elaborado el modelo de cálculo que muestra la figura 5. A partir de un análisis con el programa de cálculo desarrollado, que estudia las deformaciones y los esfuerzos en el plemento en estado de membrana, se obtienen los siguientes resultados. La geometría en la que se basa el proceso constructivo de la bóveda se compatibiliza perfectamente en planta. Sin embargo, su levantamiento, como hemos visto, provoca discontinuidades en las alturas de las claves, que se han resuelto curvando los espinazos de los arcos formeros. Este hecho la generación de superficies de doble curvatura en la poligonal y en todos los témpanos que se apoyan en los formeros, provoca (figura 6) que estos elementos sean muy poco deformables.

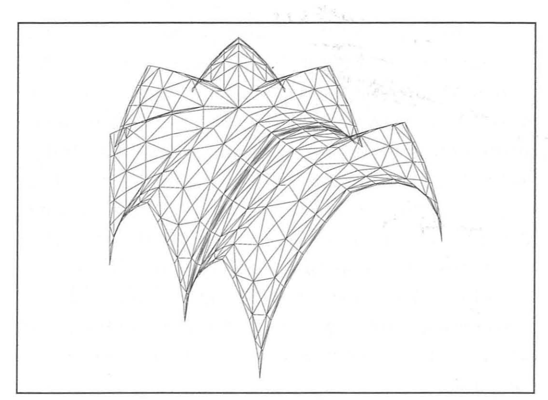


Figura 5

Sin embargo, los tramos interiores de bóveda que apoyan entre los ojivos, sobre todo el primer tramo basan su geometría en un arco apuntado trazado desde el tercer punto, que debido a la angulación en planta, se apoyan en luces bastante mayores que las de los tramos que proceden de los formeros. Es por ésto por lo que en esta zona de la bóveda, se produ-

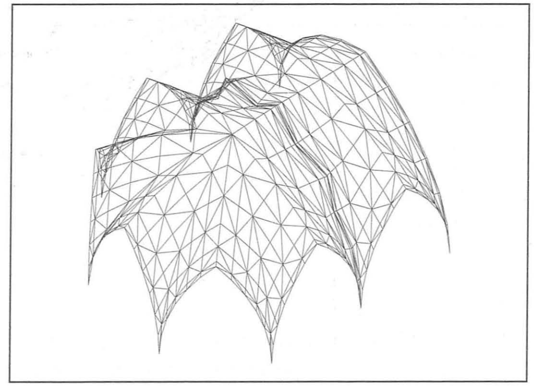


Figura 6

cen las mayores deformaciones tal como se observa en la figura 6. Tal como observamos, conforme disminuye la luz de apoyo, el efecto alternado de compresión/tracción se disipa. Este efecto estudiado anteriormente, unido a las reacciones del tramo poligonal, provoca que los ojivos interiores sufran desplazamientos horizontales, cada vez mayores conforme se acercan a los apoyos en donde concurren los tramos del plemento de mayor luz (figura 7). Cuando la deformada se aleja de su lugar original provocará compresiones o tracciones, según sea la dirección de su movimiento en los tramos anexos de plemento.

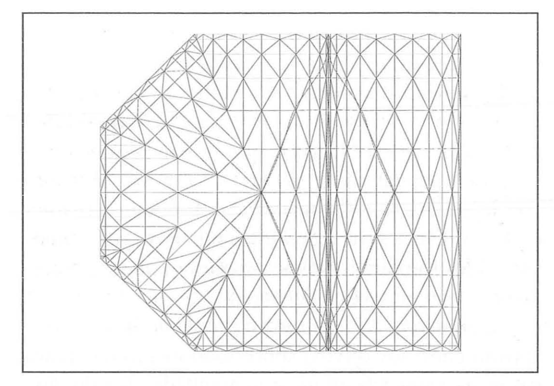


Figura 7

Por último, la figura 8 representa los empujes horizontales que provoca esta bóveda en todo su perímetro apoyado.

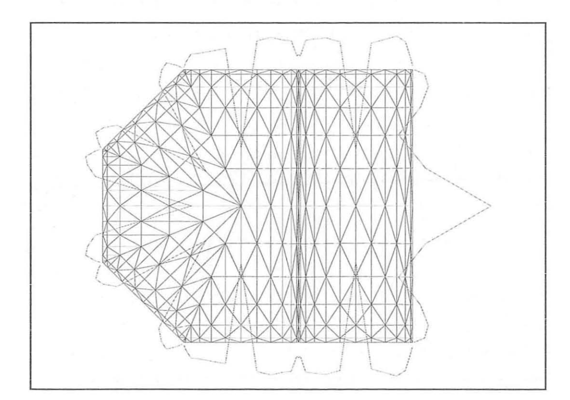


Figura 8

Puede observarse cómo en los tramos poligonales los empujes se concentran en una zona igual a 1/4 de la luz de los arcos formeros, por lo que puede afirmarse que los esfuerzos se van a canalizar por las nervaduras hasta los apoyos, estando la mitad restante de plemento traccionada en la dirección perpendicular al apoyo. En el resto de tramos, este efecto no es tan evidente, y la zona de empujes aumenta considerablemente. En el apoyo del último perpiaño de la bóveda, aparece un empuje considerable en su clave, canalizado a través del espinazo horizontal, como consecuencia del desequilibrio existente en el encuentro del tramo poligonal con el rectangular.

Por lo tanto, una vez analizado el ejemplo, puede considerarse que el análisis en estado de membrana es suficiente, ya que evidencia perfectamente las zonas de la bóveda más afectadas.

Estas geometrías, basadas en plantas rectangulares y plementos de doble curvatura en la dirección transversal, han sido muy utilizadas. Los problemas encontrados en los tramos de plemento interior, pueden resolverse rigidizando éstos con más nervios y aumentando su carga en la clave.

Grupo II.
Continuidad entre el tramo poligonal y los rectangulares con diferencias de geometría

A este grupo pertenece el caso singular de la cabecera de la iglesia de San Marcos. Tal como se aprecia en la figura 9, la cabecera se resuelve la poligonal con una bóveda de cinco paños, que se une con una bóveda de crucería de planta rectangular. Al contrario de lo que ocurría en los casos anteriores, las nervaduras apoyan en ménsulas al nivel de los arranques de los arcos principales.

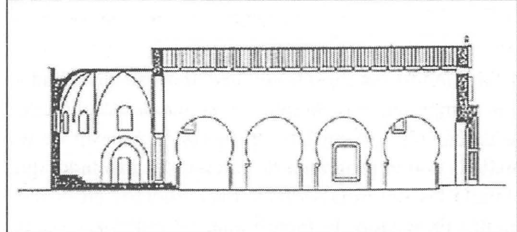


Figura 9

Puede observarse que, para compatibilizar la altura común de las dos geometrías de acuerdo, se han peraltado los arcos de forma de la bóveda rectangular, aunque todos los tramos de plemento de las dos bóvedas parten prácticamente de la misma altura. En este caso, no existe cubierta de madera y sí una azotea construida sobre la bóveda. Para que los resultados sean comparables al caso anterior, sólo se han considerado cargas debidas al peso propio. Siguiendo el mismo esquema anterior, se ha elaborado el modelo de cálculo que muestra la figura 10.

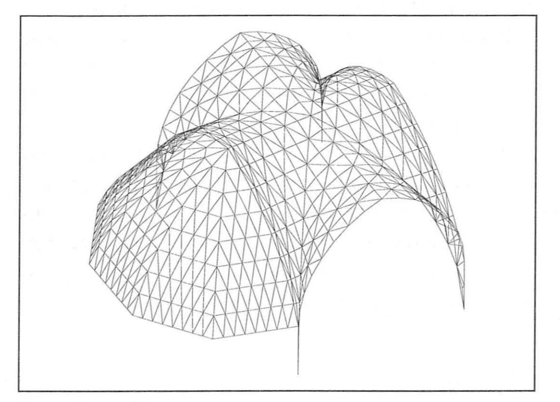


Figura 10

Utilizando también un análisis en estado de membrana, se han obtenido los siguientes resultados.

Del mismo modo que ocurría con el ejemplo anterior, la continuidad planteada entre una bóveda de crucería, basada en el arco apuntado, y otro tipo de bóveda, planteas resultados curiosos. El comportamiento de la bóveda de paños es bastante uniforme dada su rigidez y su rigor geométrico, no se ve afectado por la bóveda adjunta. Tanto su estado de tensiones como de deformación es bastante cupuliforme y aparecen tracciones según la dirección horizontal hasta una altura de 1/6 de la total. A su vez, su borde de contacto con la otra bóveda es bastante rígido, y plantea una apoyo casi indeformable, para la otra bóveda.

La bóveda de crucería, basada en geometrías de arco apuntado trazado desde el tercer punto, en las dos direcciones, plantea un comportamiento similar al que tendría si estuviera aislada.

Su estado de deformación es consecuencia de su geometría, como podemos observar en la figura 11,

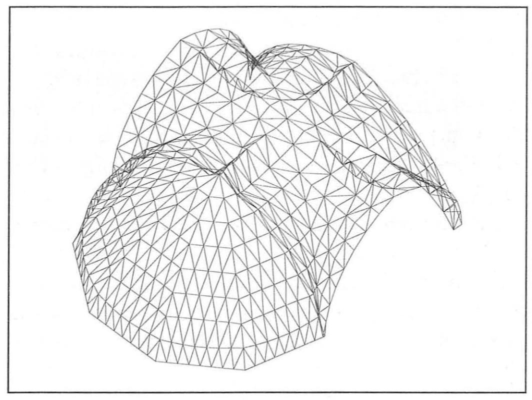


Figura 11

en donde se representan los movimientos totales y podemos apreciar como las claves tienden a levantarse. Estos movimientos siempre son más acusados en la dirección transversal, en la que la luz de apoyo es más larga. En el estado tensional, sin embargo, la conexión con una geometría diferente, sí tiene influencia. Prácticamente, todas las hiladas que están en contacto con las ojivas están traccionadas, fenómeno que tiene su influencia en las reacciones en el contorno.

Grupo III. Discontinuidad entre el tramo poligonal y los rectangulares con diferencias de geometría

A este grupo pertenece el ejemplo singular de la cabecera de la iglesia de Santa Catalina.Presenta una planta muy similar al caso anterior, pero con la poligonal resuelta con una bóvedas de nervaduras, de témpanos curvados basados en la geometría de la semicircunferencia, (figura 12). Esta poligonal, apoya en un arco apuntado, trazado desde el tercer punto, sobre el que, por el otro lado, apoya una bóveda de crucería. La aparición de este arco toral de transición, provoca que ambas bóvedas se tracen y construyan de modo independiente.

En este caso, se va a analizar el tramo poligonal, ya que el cuadrado ha sido estudiado en otras ocasiones. Para el estado de cargas se ha considerado su estado real, que corresponde sólo a su peso propio. El modelo desarrollado para el cálculo se representa en la figura 13.

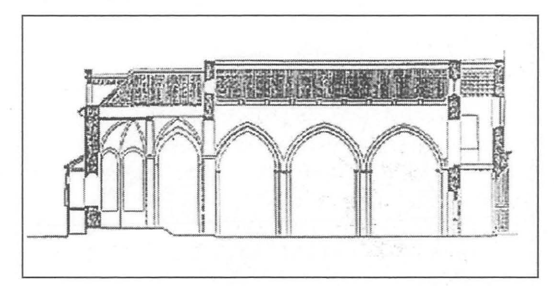


Figura 12

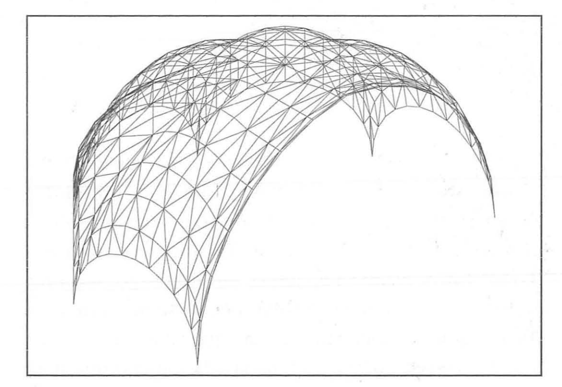


Figura 13

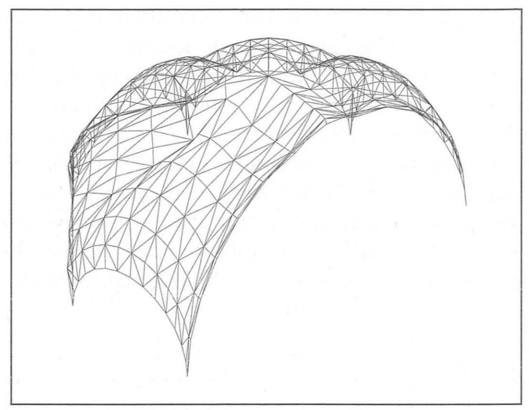


Figura 14

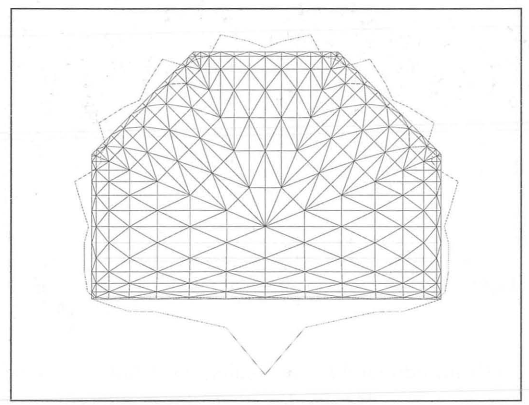


Figura 1

Utilizando también un análisis en estado de membrana, se han obtenido los siguientes resultados.

El estado de deformación obtenido evidencia la rigidez de los témpanos poligonales, basados en la geometría del semicírculo. El único témpano que existe basado en el arco apuntado, apoyado en el arco toral, muestra el comportamiento típico de movimientos en la clave (figura 14), que evidencian este tipo de estructuras.

Esta es una estructura prácticamente comprimida en las dos direcciones y sólo presentan tracciones en la dirección horizontal, a alturas muy bajas, del mismo orden que en el ejemplo anterior y en la clave común a todas las nervaduras. La figura 15 muestra el estado de reacciones horizontales.

Conclusiones

Hemos podido constatar como en todos los casos analizados, cabeceras de templos parroquiales, se sacrifica el rigor geométrico frente a la facilidad de trazado de las bóvedas. Ésto, evidentemente, no significa que estén mal resueltas, simplemente en cada caso se ha buscado, sistemáticamente, la solución más sencilla de trazar, ya sea con geometrías basadas en superficies regladas o de traslación, utilizando siempre a las nervaduras como elementos directores.

Si se piensa en resolver estas cabeceras, con errores de trazado arrastrados desde la fundación de sus muros, utilizando otro tipo de bóvedas, aparecerían problemas irresolubles con las técnicas de la época. Es aquí, desde nuestro punto de vista, donde reside la potencialidad de estas bóvedas, en su capacidad de adaptación a cualquier situación

geométrica, por complicada que sea. Sin embargo, lo anterior, la facilidad constructiva, no tiene que implicar en todos los casos un correcto comportamiento mecánico. Si se entiende por correcto, en obras de fábrica, la ausencia de tracciones y minimización de empujes.

Hemos podido observar como todas las bóvedas que basan el trazado de su plemento a partir de arcos de forma de geometría apuntada, sufren tracciones perpendiculares al perímetro, que provocan que parte del plemento se separe de éste. Este aspecto cambia por completo la configuración geométrica y mecánica de la bóveda, pero no implica su colapso, simplemente la aparición de fisuras, que pueden dar origen (estamos en techos y cubiertas) a otras lesiones que degradarán la fábrica. Por otro lado, concertar geometrías distintas, ha provocado en algunos casos, la aparición de reacciones no compensadas, que tendrán que ser absorbidas en el perímetro.

BIBLIOGRAFÍA

Gómez de Cózar, J. C.: *Análisis de estructuras espaciales de fábrica (bóvedas y cúpulas) en construcciones históricas.* Beca resolución 19/05/ 1998, de la Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. Ministerio de Fomento.

Hernández, J.; Sancho, A.; y Collantes, F.: *Catálogo arqueológico y artístico de la provincia de Sevilla.* Diputación de Sevilla. Sevilla, 1939, 1943, 1951 y 1955.

Heyman, J.: *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica.* Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1995.

Morales, A.J.; Sanz, M.J.; Serrera, J.M. y Valdivieso, E.: *Guía artística de Sevilla y su provincia.*

Excma. Diputación provincial de Sevilla. Sevilla, 1981.

Quintas, V.: *Estructuras especiales en la edificación. Análisis y cálculo.* Editorial Rueda. Madrid, 1996.

Rodríguez Liñán, C.; Gómez de Cózar, J. C. y Rubio de Hita, P.: «Sobre plementos, témpanos y nervaduras. Bóvedas resistentes y elementos decorativos», en *II Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* La Coruña, octubre de 1998.

Las armaduras de cubierta en los tratados del siglo XVII francés

Isabel Gómez Sánchez
Santiago Huerta Fernández

En el siglo XVI Italia se sitúa a la cabeza de la producción de textos sobre arquitectura, en los que destaca su carácter universalizador y teórico. En el XVII es Francia el país que toma el relevo, produciéndose además un cambio de orientación. Junto a las obras teóricas, encontramos otras en las que domina la finalidad práctica y una mayor preocupación por los aspectos constructivos.

En efecto, desde finales del siglo XVI los textos de arquitectura y construcción se especializan, y aparecen numerosos manuales prácticos, entre ellos los primeros tratados específicos de carpintería. En este sentido, la obra de Philibert de L'Orme[1] representa un caso excepcional, tanto por su anticipación en el tiempo como por su contenido. No pretende recoger ni orientar los usos tradicionales de la carpintería de la época, sino proponer un nuevo sistema constructivo. Los que sí recogen las prácticas tradicionales son los dos tratados específicos de carpintería del primer tercio del siglo XVII en España y Francia: los de López de Arenas y Mathurin Jousse, respectivamente.[2] Los tratados y las técnicas de la carpintería de armar española han sido ampliamente estudiados por diversos autores, así como la obra de Mathurin,[3] por lo que en este caso se pretende analizar las soluciones empleadas en el ámbito francés y recogidas en tratados no específicos.

Prácticamente coincidentes en el tiempo con Jousse y López de Arenas encontramos dos obras que suponen el comentado cambio de orientación en la tratadística francesa: los tratados de Le Muet y Savot. El carácter práctico de los textos se acentuará a lo largo del siglo, difundiéndose obras cada vez más divulgativas que técnicas. Pero pese a su «desprofesionalización», nos permiten conocer las soluciones constructivas empleadas en el país vecino.

En todos los casos, la carpintería de armar ocupa un lugar importante en los tratados generales de construcción del XVII francés. Y las armaduras de cubierta representan el capítulo más extenso, por la variedad y complejidad de soluciones posibles. En ellas se centrará este estudio, prestándose especial atención a las reglas de trazado y dimensionado que orientaron el proyecto de armaduras en Francia en esta época. Las soluciones y tipos estructurales difieren notablemente de los españoles. Así por ejemplo, los tratados españoles recogen fundamentalmente armaduras de par y nudillo, al ser éstas las más utilizadas por los carpinteros de lazo; en Francia sin embargo, los tratados son más generales e incluyen mayor variedad de soluciones tipológicas.

El tratado de Le Muet[4]

El tratado de Le Muet constituye en Francia un nuevo modelo de publicaciones sobre arquitectura, cuyo principal objetivo es orientar a todos los sectores implicados en la edificación. Fruto de la propia experiencia del autor, se trata de una obra con finalidad práctica que contempla todos los aspectos que intervienen en la construcción de edificios y contrasta con

el gusto por las disquisiciones teóricas, dominante en Francia hasta la fecha.

El tratado contiene un amplio catálogo de tipos empleados en la construcción en el París de principios del siglo XVII. Inicialmente sólo recogía ejemplos de edificios de arquitectura doméstica; pero ya desde la segunda edición se amplía el catálogo con la inclusión de palacios y grandes villas. En todos los casos se describen mediante el empleo sistemático de plantas, alzados y algunas secciones, añadiéndose en ocasiones detalles de soluciones constructivas. Fue reeditado en cinco ocasiones durante el siglo XVII, con sucesivas adiciones de ejemplos de obras, prueba de su gran aceptación.

Desde el discurso preliminar de la obra, se aprecia la preocupación de Le Muet por los problemas constructivos y el dimensionado de elementos, incluyendo frecuentes consejos prácticos para garantizar la estabilidad de las obras. El único capítulo específico de construcción se dedica a la carpintería de armar, con detalladas explicaciones del sistema de construcción de entramados verticales, forjados y armaduras de cubierta. En todos los casos, se describe el proceso constructivo, la situación de cada uno de los elementos, así como la escuadría y soluciones de encuentro de algunos de ellos.

Las soluciones expuestas están incluidas en numerosos tratados posteriores,[5] sin apenas variaciones incluso más de cien años después, lo que pone de manifiesto hasta qué punto recogen los modos imperantes en Francia en esta época.

Armaduras de cubierta

Dependiendo del material de cubierta utilizado, se proponen tres sencillas reglas geométricas para determinar la pendiente de las armaduras (Fig. 1).

En cuanto a la clasificación de armaduras, se considera un triple criterio de funcionamiento estructural: Independientemente del material de cubierta, las armaduras pueden tener el arranque elevado o al nivel del último forjado (*avec exaucement de l'entablement au dessus du dernier plancher, ou sans exaucement*), Figuras 2-3 y 4-5 respectivamente. En el primer caso establece dos nuevos criterios de clasificación: por un lado, distingue entre las cubiertas apoyadas en muros piñón (*entre deux pignons*), Figs. 2 y 4 y las cubiertas a cuatro aguas, con faldones testeros (*avec croupe*), Figs. 3 y 5 ; por otro, según la estructura de asiento, distingue entre las armaduras sobre pies derechos (*jambes de force*), Fig. 2 y las construidas sobre soleras dobles formando *platte formes*,[6] Figs. 3 y 5.

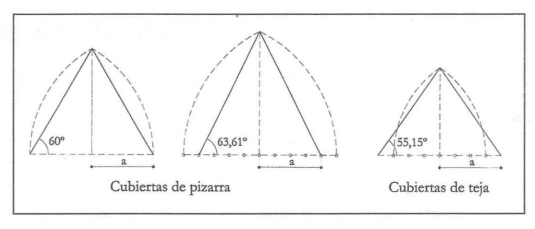


Figura 1
En el caso de la teja, se divide el ancho de la sala a cubrir en 8 partes, dándose 7 de ellas a los faldones laterales (55,15º de pendiente). Para la pizarra se dan dos posibles soluciones: el empleo del triángulo equilátero (60º) o bien la división del ancho en 8 partes, dando a los planos inclinados 9 de ellas (63,61º).

Las soluciones de arranque elevado dejan libre la planta sobre el nivel del forjado de desván. Se resuelven de dos maneras:

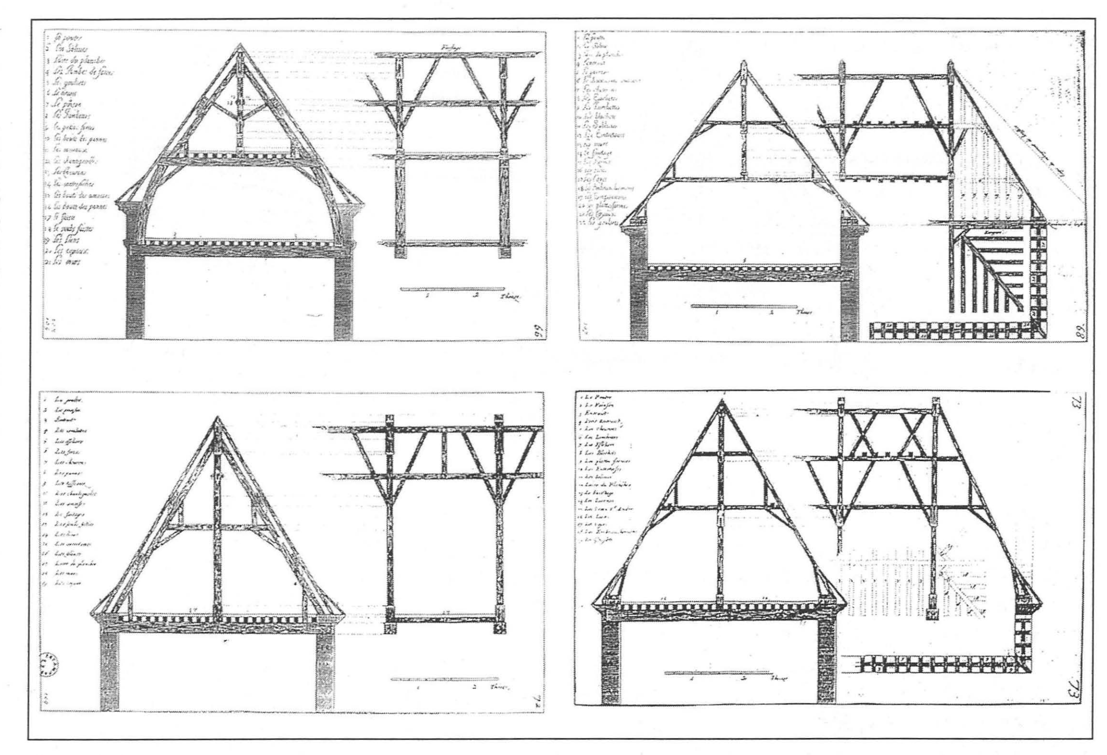
— Con estructura de tijeras con correas y forjado elevado (el tipo descrito como armaduras sobre *jambes de force*).
— Con armaduras de pares sobre plataformas, sin forjado superior.

Las soluciones de arranque a nivel del último forjado no soportan otro forjado superior en ningún caso. También se resuelven de dos formas posibles:

— Con estructura de tijeras y correas.
— Con armaduras de pares sobre plataformas.

En todos los casos las cubiertas sobre *plateformes* representan armaduras de pares, mientras las armaduras sobre *forces* son soluciones de tijeras con correas, que pueden tener los pares enterizos (*forces simples*) o partidos (en las denominadas armaduras sobre *jambes de force*).

Pese a que no se indica expresamente, las armaduras con correas parecen apoyarse en muros piñón. Las de pares, sin embargo, menos resistentes, tienen limas que arriostran longitudinalmente la estructura. Para ello, los cuartos de limas son rectangulares, teniendo el par alarozo (el par testero que coincide con la hilera) más pendiente que los pares torales (los úl-



Figuras 2-5
Tipos de armaduras de cubierta definidas por Le Muet.

timos pares de los faldones laterales que alcanzan la hilera).

Le Muet define cuatro tipos de armaduras, considerando los distintos valores de los parámetros de clasificación, Figs. 2, 3, 4 y 5 respectivamente:

— Armaduras sobreelevadas sobre *jambes de force.*
— Armaduras sobreelevadas sobre *platteformes.*
— Armaduras a nivel con *forces simples.*
— Armaduras a nivel sobre *platteformes.*

En los cuatro casos se describen detalladamente los elementos de las estructuras de apoyo, los que constituyen las armaduras, los de arriostramiento longitudinal y los que finalmente reciben el material de cubierta. A título de ejemplo, se incluye a continuación la referencia al caso de las armaduras sobreelevadas de tijeras con correas (el primero de los cuatro tipos de Le Muet), que es el que con mayor frecuencia aparece en los tratados de la época.

Armaduras sobreelevadas, de tijeras sobre pies derechos y correas (Fig. 6)

—Las tijeras tienen los pares interrumpidos, por lo que a excepción del tirante, permiten ser construidas con piezas de menor longitud que las de pares enterizos. Los pares inferiores o *jambes de force* son en realidad pies derechos de apoyo de la parte superior de la estructura, una tijera de par y pendolón. Se reciben a caja y espiga sobre las vigas,[7] y sostienen un tirante elevado (*tirant*). Sobre el tirante puede ir situado un forjado superior, reforzándose el apoyo mediante la colocación de tornapuntas (*goussets*) que descargan el tirante sobre los pies derechos. El tirante recibe igualmente a caja y espiga los pares superiores (*forces*), que acometen en la parte alta y con este mismo tipo de unión, a un pendolón (*poinçon*). Los pares superiores descansan sobre el pendolón a través de jabalcones o *contrefiches* y sobre el tirante a través de postes (*jambettes*) verticales. El pendolón se «apoya»

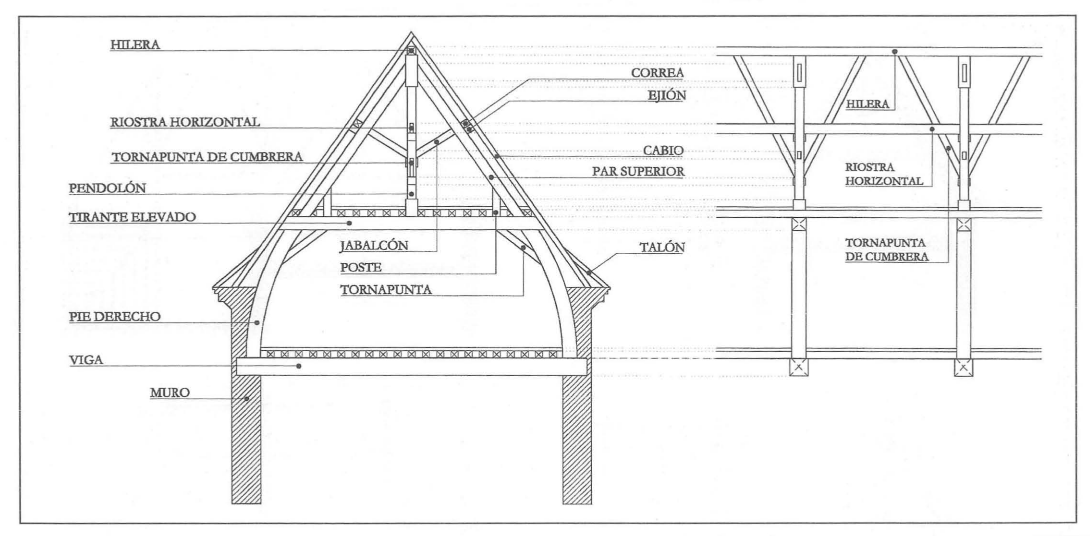


Figura 6
Secciones transversal y longitudinal de la cubierta de tijeras con correas y arranque elevado.

según palabras de Le Muet en el centro del tirante, y rigidiza la estructura tanto en el plano de la armadura (a través de los jabalcones) como en el plano perpendicular (mediante las tornapuntas de cumbrera o *liens*, que apean la hilera en el plano medio longitudinal). Todos los elementos de arriostramiento en el plano de la armadura, se ensamblan a caja y espiga, que es, como puede apreciarse, prácticamente el único tipo de unión utilizado.

Definida la estructura de las armaduras o tijeras, queda situar los elementos longitudinales que apoyan sobre ellas, bien para sostener la cubierta, bien para arriostrar el conjunto longitudinalmente.

Los principales elementos de apoyo del material de cubierta son las correas (*pannes*), situadas a nivel del tirante y en el punto donde acometen los jabalcones a los pares (que deben hacerlo perpendicularmente a ellos). Sobre ellas se colocan los cabios (*chevrons*), que apoyan en cuatro puntos sensiblemente equidistantes: en el entablamento, en las correas intermedias y en la cumbrera. En la parte inferior de los cabios se clavan los talones (*coyaux*), permitiendo evacuar el agua de la cubierta en esta zona. Los cabios se separan entre 16 pulgadas y 2 pies, dependiendo de su sección, lo cual supone un reparto de 3 y 4 por tabla (*latte*) respectivamente.[8] Son los elementos que finalmente reciben la cubierta.

Entre los elementos destinados a arriostrar la estructura en el plano perpendicular a las armaduras, cabe destacar las hileras (*faistages*), las riostras horizontales (*sousfaistes*) y las tornapuntas de cumbrera (*liens*). Las hileras son piezas que reciben los extremos superiores de los cabios; están situadas entre las tijeras, unidas a caja y espiga sobre las cabezas de los pendolones, y ensambladas entre sí mediante uniones en rayo de júpiter reforzadas con clavijas de madera. Las riostras horizontales enlazan las armaduras entre sí, ensamblándose a caja y espiga en los pendolones, en el punto medio de su altura. Las tornapuntas de cumbrera apean la hilera en el pendolón de modo que entre cada dos armaduras la hilera quede dividida en tres partes iguales.

La armadura así descrita es quizá la solución estructural más utilizada en las cubiertas francesas de principios del siglo XVII. Como vemos, muy distinta de las armaduras de la carpintería española de la época. En la edición de 1681 se incluyen finalmente dos láminas con armaduras quebrantadas, conocidas popularmente como *mansardas*. Suponen una nueva tipología, que mejora el aprovechamiento del espacio bajo cubierta con una notable reducción de la altura. Permiten sustituir los cabios enterizos por piezas de menor longitud y serán una solución de moda en Francia desde la segunda mitad del XVII (Fig. 7).

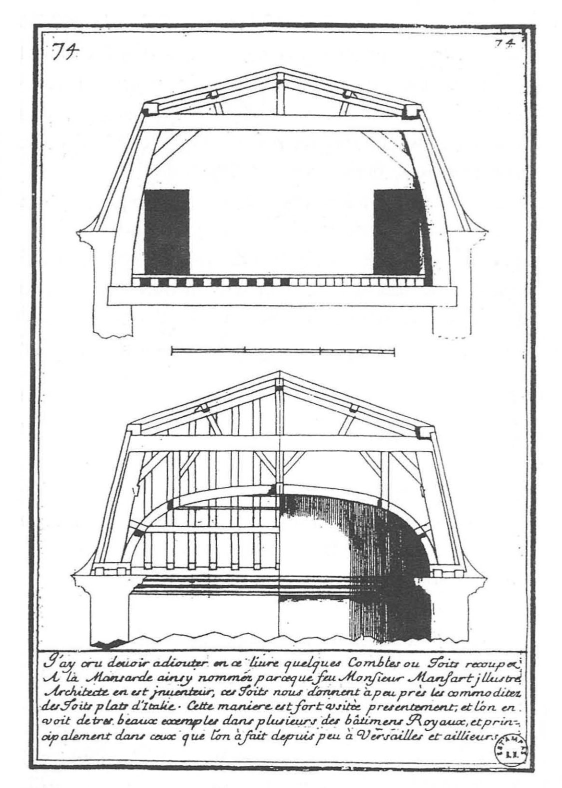


Figura 7
Armadura quebrantada o «mansarda».

L'Architecture française de Savot[9]

Pese a la escasa experiencia profesional de Savot, su deseo de orientar al promotor en cuestiones prácticas, le lleva a escribir un tratado que es considerado por algunos autores como el padre de los manuales de arquitectura del XVII en Francia.[10] Igual que en el caso de la obra de Le Muet, pretende tener carácter general, e incluye numerosas indicaciones sobre dimensionado de elementos, propiedades de los materiales de construcción, precios, métodos de medición y tasación y ordenanzas vigentes. Aparte de la edición príncipe de 1624, reimpresa en 1632 y 1642, se reeditó la obra, revisada por Blondel, en 1672 y 1685.

Contenidos técnicos

En el capítulo XLII del tratado, dedicado al tema del precio de las obras de carpintería, encontramos la referencia a la «pieza» (*piece*), unidad de medida utilizada en Francia para el cálculo del volumen de madera.[11] Aunque carece de apoyo gráfico, aporta interesantes datos sobre piezas, dimensiones y sistemas de medición, tema de gran importancia en los manuales prácticos de construcción de la época.

En el caso de las vigas, soleras y carreras de los forjados, el grosor se determina en función de la luz a salvar. Debió ser una práctica habitual en la época, que explica la profusión con que en los tratados de construcción se incluyen tablas de escuadrías en función de la longitud de las piezas.

En cuanto a las armaduras de cubierta, tras indicar (sin describir) los elementos que las forman, se dan valores de dimensiones y escuadrías de las piezas a emplear en un supuesto práctico concreto, correspondiente a una estancia de 4 toesas (12 pies) de ancho, y resuelta con una armadura de tijeras con correas, del tipo descrito por Le Muet como de *jambes de force*. Pese a la minuciosidad de la descripción, se observa sin embargo gran uniformidad en las dimensiones de las piezas.[12]

Encontramos reglas de trazado, expresadas como tales en el capítulo XXVIII, e implícitas en el LXII en otras reglas de dimensionado. Entre éstas, la que establece una longitud del pendolón igual a 2/3 de la luz a cubrir o las que aconsejan dar a los cabios una longitud igual al ancho de la estancia aumentado en 1/8 (63,61º de pendiente) en el caso de la pizarra, y algo menor que este ancho (60º) si se utiliza teja. Entre las reglas explícitas, se propone dar a la cubierta una altura igual al ancho del vano (63,43º) en el caso de la pizarra, y entre 2/3 y 3/4 (entre 53,15º y 56,31º) en el de la teja.

Se indica una clasificación de armaduras, basada en criterios estructurales. Coincide con una de las dadas por Le Muet: la que distingue entre armaduras sobre *jambes de force* y armaduras sobre *plateformes*. Describe las solución ya vista de tijeras con correas en el primer caso, y de armaduras de pares en el segundo. Las construidas sobre plataformas se califican como «más bellas y nobles» y se presentan como alternativa para espacios abovedados en los que interfiere la presencia de tirantes intermedios.

Los tipos de cubierta empleados en Francia evolucionan sensiblemente a partir de la segunda mitad del siglo XVII. Se reduce notablemente la altura de las cubiertas y se pone de moda la armadura quebrantada o mansarda. En la edición de Blondel del tratado de Savot, correspondiente a esta nueva época, se señala la bondad esta cubierta, por su mejor aprovecha-

miento del espacio y por poder ser construida utilizando piezas de pequeña escuadría, con un considerable ahorro de material.

El tratado de D'Aviler

El *Cours d'Architecture...*[13] de Augustin-Charles D'Aviler es un tratado general de arquitectura dedicado especialmente al estudio de la teoría de los órdenes. Sin embargo, incluye un breve pero significativo capítulo sobre carpintería de armar, cuyas indicaciones aparecen con frecuencia en los tratados de la época.[14] Se define con gran detalle una armadura quebrantada o «mansarda», solución que, como ya se ha indicado, será objeto de interés a lo largo de todo el siglo XVIII en los tratados franceses.

El texto incluye numerosos consejos prácticos relacionados con las distintas obras de carpintería. Así por ejemplo, se señalan el ahorro económico, de espacio y de peso como razones que pueden aconsejan la construcción de fachadas mediante entramados de madera. En cuanto a los forjados, se indica la ventaja de dejar la madera vista, por su mejor conservación, pese a ser más bellas las soluciones de falsos techos. Recomienda proteger con plomo los apoyos de las vigas en la obra de fábrica y colocar las vigas y viguetas siempre de canto. No da valores concretos de escuadría de piezas, pero insiste en que ha de ser la estrictamente necesaria, por motivos tanto económicos como estructurales (ahorrando gasto y peso).

Las armaduras de cubierta

A propósito de las armaduras de cubierta, se incluyen dos láminas que sorprenden por su cuidado y contenido informativo. Recogen distintos tipos de arma-

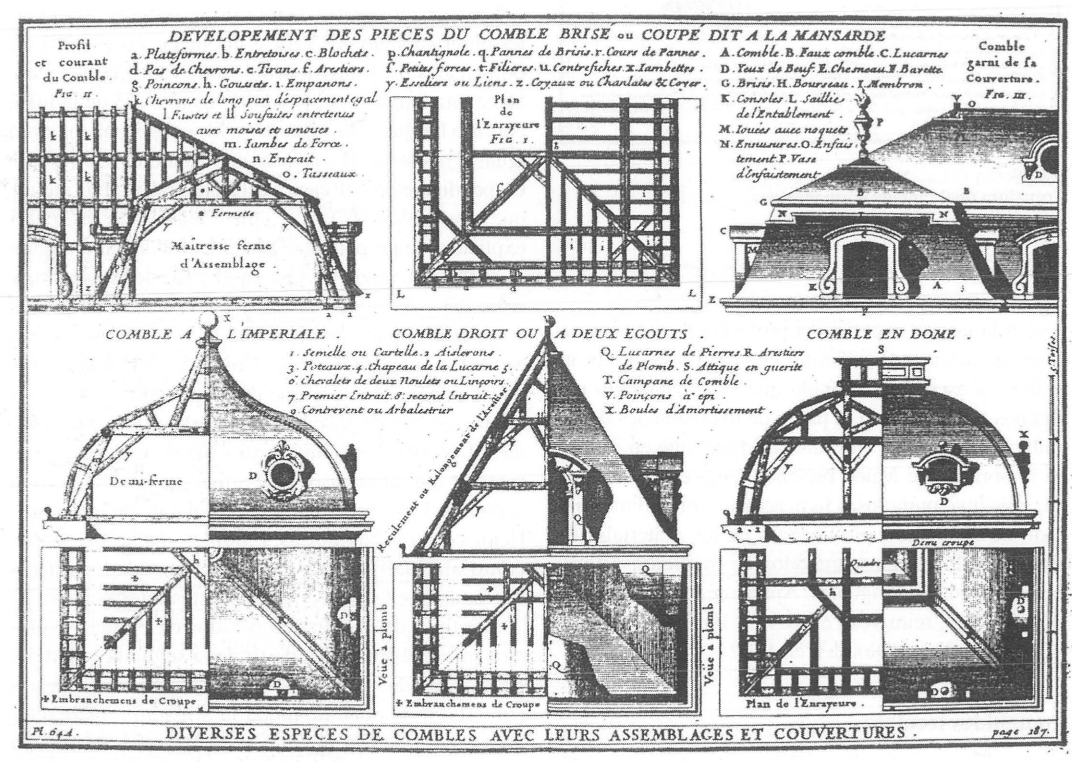


Figura 8
Tipología de armaduras de cubierta de D'Aviler.

duras, junto a una escalera y un entramado. Bajo el título «diverses especes de combles avec leurs assemblages et couvertures», la primera de ellas reúne cuatro tipos de armaduras (Fig. 8):

— Mansarda.
— A dos aguas recta
— A la imperial
— En cúpula, sobre planta cuadrangular

A los que hay que añadir una armadura para una cúpula, en la lámina siguiente.

Frente a las clasificaciones estructurales de los tratados específicos de principios de siglo, los manuales prácticos posteriores se basan en criterios morfológicos, mucho menos técnicos. En esta línea, D'Aviler propone una clasificación de armaduras atendiendo a la forma de su sección transversal:

— Armadura a dos aguas. Considerada como «la más sencilla y la mejor», distingue entre las de limas o a cuatro aguas y las rematadas en muros piñón (o en su caso, un frontón).
— Armadura quebrantada o «mansarda». Es la que describe más exhaustivamente, probablemente justificándose en su popularidad. Entre sus ventajas, señala la mejora de las condiciones de habitabilidad de los desvanes de cubierta, al tiempo que permite su iluminación con menor daño a la estructura (puesto que a mayor inclinación del faldón es menor el corte a realizar en su plano para conseguir un vano de igual altura). Por el contrario, la menor inclinación de los faldones superiores presenta inconvenientes en climas fríos, por la retención de nieve.

Se describe una armadura quebrantada a base de cerchas con correas y asentadas sobre plataformas. Se trata de una cubierta a cuatro aguas, con cuartos de limas cuadrados, de modo que péndolas y manguetas coinciden en su encuentro con las limas.

Para el trazado, se propone una regla (Fig. 9) alternativa al sistema tradicional de división del semicírculo en 4 partes iguales (que proporciona pendientes de 67,5º y 22,5º para los faldones inferior y superior respectivamente). La inclinación del faldón inferior será igual a la mitad de su altura y la del faldón superior igual a la mitad de su ancho (63,43º y 26,56º de pendiente). Se trata de una regla que no define realmente la altura del quiebro, sino sólo los valores de las pendientes de los faldones. Veremos su coincidencia con una de las dadas por Bullet como típica de la época (Fig. 9).

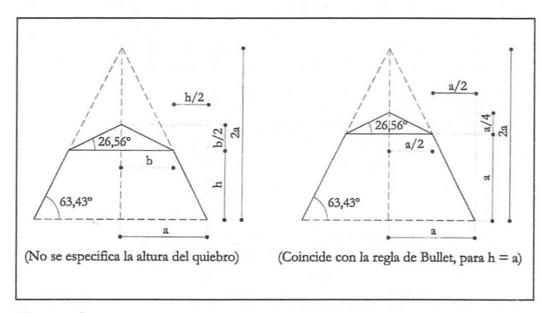


Figura 9
Reglas de trazado de armaduras quebrantadas dadas por D'Aviler (izquierda) y Bullet (derecha, en la que sí se define la altura del quiebro).

L'Architecture pratique de Bullet

L'Architecture Pratique de Pierre Bullet es un tratado general de arquitectura, en el que ya el propio título de la obra orienta sobre su finalidad.[15] Escrito con intención de ofrecer un manual práctico pero no por ello carente de rigor técnico, proporciona sistemas de medición y presupuesto de las obras de los distintos oficios que intervienen en la edificación. El propio autor reconoce al tratar el tema de la carpintería, su deseo de orientar la práctica constructiva, poniendo su experiencia al servicio de los constructores. El texto está cuajado de consejos y reglas concretas, junto a análisis críticos de los usos de la época. Acompaña escasas pero claras figuras.

Comienza Bullet indicando cuáles son las estructuras que abarca la carpintería en edificación: cubiertas, forjados, entramados, tabiques, escaleras y las denominadas «ocultas» (tales como las cimentaciones, no menos importantes en los edificios). Se dedica un capítulo a cada una de ellas, si bien son las armaduras de cubiertas las que ocupan la práctica totalidad del titulado «de la charpenterie». En primer lugar se realiza un rápido recorrido por la historia de las cubiertas de madera y su estudio a través de los autores clásicos, efectuando un análisis comparativo entre Italia y Francia. En ambos países se critica a los antiguos el no haber legado reglas para determinar la

altura de las cubiertas. Para conocer los sistemas de trazado que empleaban, sólo cabe la posibilidad de estudiar sus obras construidas, que es precisamente lo que Bullet hace en su tratado. Deduce posibles reglas de determinación de pendientes a partir de las obras de los clásicos e incluye igualmente las de más en uso en Francia en la época, analizando críticamente unas y otras. Finalmente, Bullet propone sus propias soluciones, expresadas en forma de sencillas reglas geométricas.

Reglas de trazado de armaduras

Igual que D'Aviler, Bullet distingue entre las cubiertas a dos aguas y las quebrantadas. En el primer caso, además pueden tener los pares enterizos (que son en realidad armaduras de par y nudillo con correas) o construirse sobre *jambes de force*.

—En el caso de las cubiertas a dos aguas, destaca la escasa pendiente de las cubiertas tradicionales en Italia, que utilizaban los frontones como muros piñón (12,52º según Vitruvio, para quien la altura del frontón debe ser 1/9 del ancho de la estancia). En Francia por el contrario, critica el exceso de altura de las cubiertas de los «antiguos», quienes solían dar a las armaduras una altura igual al ancho del vano (63,43º de pendiente), o la correspondiente al triángulo equilátero. Según Bullet, son demasiado pendientes y «sobrecargan los muros de forma innecesaria». Una posible solución pasa por el truncado y la construcción de terrazas; otra la constituyen las cubiertas «mansardas», para las que tampoco los autores clásicos franceses proporcionan reglas de trazado, que hay que deducir de sus obras.

—El primer tipo de armadura mansarda «tradicional» descrito por Bullet, sitúa el quiebro a la mitad de la altura de la cubierta recta de igual pendiente que los faldones inferiores de la mansarda (Fig. 10). Si bien no se indica si ésta coincide o no con el ancho del vano, de la ilustración que incluye parece deducirse que es así. En cuanto a la altura de los faldones superiores, se tomará el valor de la mitad de su ancho. Se obtiene una cubierta cuyos faldones tienen 63,43º y 26,56º de pendiente, con una altura total igual a 1,25 veces la mitad del ancho del vano.

En el segundo tipo de cubierta mansarda se da mayor inclinación al faldón inferior (1/3 de su altura, que en este caso sí se indica claramente que coincide con la mitad del ancho del vano) y al superior de nuevo una altura igual a la mitad de su ancho.

El propio autor reconoce la dificultad de determinar reglas generales, ya que «cada uno quiere hacerlas [las cubiertas quebrantadas] a su gusto y mane-

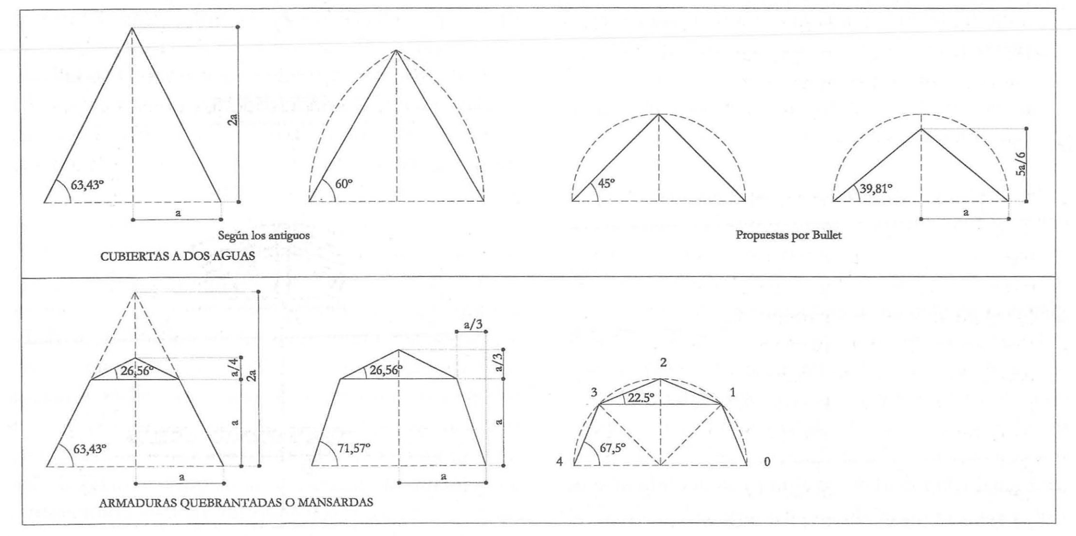


Figura 10
Reglas de determinación de la pendiente de las armaduras en Francia, tanto «antiguas» como propuestas por Bullet

ra». Incluye sus propias recomendaciones y juzga la adecuación de los usos más extendidos. Así por ejemplo, atendiendo a razones estéticas, recomienda que la altura de las cubiertas se fije teniendo en cuenta no sólo el ancho, sino también la altura del edificio que cubren.

—Para las cubiertas a dos aguas, dando lo que se define como una regla «moderada», recomienda pendientes de 45º o incluso un poco menores (5/6 del valor anterior). En ambos casos, considerablemente menores que las utilizadas por los «antiguos».

—Para las mansardas, recomienda inscribirlas en un semicírculo de diámetro igual al vano a salvar, con los quiebros situados a 45º. Las pendientes de los faldones no difieren mucho de las utilizadas tradicionalmente (67,5º y 22,5º), pero sí se reduce sensiblemente la altura del quiebro.

Contenidos técnicos y reglas de dimensionado

Las cubiertas descritas corresponden al tipo de armaduras con correas. Separadas entre 9 y 12 pies, apoyan directamente sobre los tirantes, mientras que los cabios o contrapares lo hacen sobre *plataformas*.

Se dan valores de los grosores de piezas a utilizar para distintos tipos de armaduras correspondientes a un supuesto concreto. Se trata de una cubierta a dos aguas inclinada 45º (en un caso, con pares enterizos y en otro, sobre *jambes de force*) y de otra mansarda trazada según la regla recomendada por Bullet (Fig. 11). En todos los casos, el ancho de la estancia a cubrir es de 27 pies, valor medio de los empleados en las viviendas de la época.[16]

- Para la mayor parte de los elementos resistentes de las armaduras (pares, nudillo, correas, pendolón) se recomiendan valores de entre 8 y 9 pulgadas de escuadría. Algo menor será la sección de los elementos de arriostramiento.[17]
- Los elementos que no han de soportar carga, como los cabios, son lógicamente los más finos (tan sólo 4 pulgadas de escuadría).
- El tirante es con diferencia la pieza más robusta (entre 15 y 19 pulgadas y siempre colocado de canto), puesto que además de resistir el empuje de las armaduras, habitualmente ha de soportar el peso del forjado.

En caso de luces distintas se utilizarán valores proporcionales a éstos. Preocupado por cuestiones resistentes, señala cómo el grueso de las piezas viene determinado tanto por su longitud como por su uso.[18] En cualquier caso, es importante dar a las piezas la sección necesaria y no sobredimensionarlas.

En cuanto al dimensionado de vigas, se aconseja hacerlo en función de su longitud, utilizando una tabla experimental de escuadrías, que numerosos autores posteriores incluirán también en sus tratados,[19] y se fija el valor 5/6 como relación recomendada entre ancho y alto de las secciones.

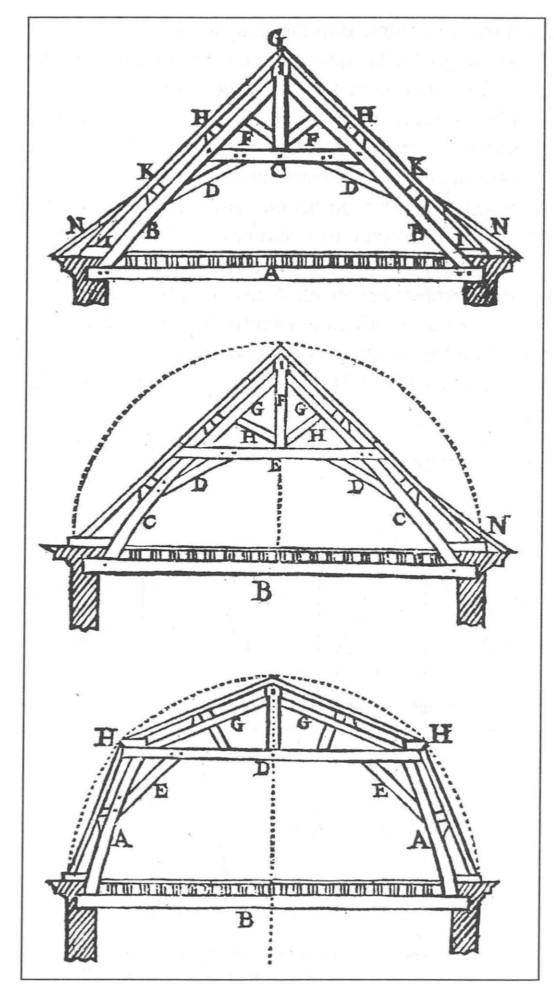


Figura 11
Armaduras de cubierta descritas por Bullet.

Resulta interesante la preocupación de Bullet por la falta de rigidez de las estructuras de madera, ya sean entramados verticales u horizontales (forjados). Tras cuestionar el empleo de la madera para construir muros, por su inferioridad (tanto estética como resistente) frente a la piedra, recomienda colocar tirantes perpendiculares a fachada para garantizar el anclaje del entramado al resto de la estructura. En el caso de los forjados, propone dos sistemas de rigidización de forjados de gran luz.[20]

Conclusión

Las armaduras de cubierta ocupan un lugar destacado en los tratados franceses de construcción del siglo XVII. Pese a la falta de fundamento teórico de las soluciones propuestas, basadas en la experiencia profesional de los autores, su preocupación por la aplicación práctica de los textos les lleva a incluir numerosas reglas de trazado y dimensionado. También nos permiten conocer los tipos de armaduras y las soluciones constructivas empleadas, así como su evolución a lo largo del siglo. Efectivamente, observamos una reducción progresiva de la pendiente de las cubiertas y el empleo de tipos que utilizan piezas pequeñas: frente a las armaduras de pares se recomiendan las cubiertas de cerchas con correas; y dentro de éstas, las que dividen los pares: armaduras sobre *jambes de force* y quebrantadas o «mansardas».

Vemos cómo en cualquier caso, los nuevos tipos suponen mejoras en el comportamiento estructural de las armaduras. Pero aún habrá que esperar hasta el siglo XVIII para encontrar referencias a las primeras teorías de resistencia de materiales y cálculo estructural en los tratados generales de construcción.

Notas

1. Philibert de L'Orme, *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits fraiz*. París: F. Morel, 1561. Precursor de los tratados de carpintería de armar, es el primer texto de este tipo conocido en Europa. Supuso la propuesta de un sistema de carpintería con carácter propio y muy alejado de los usos tradicionales del oficio. Se trata de un método de formación de arcos de gran luz a partir de tablas encamonadas, que se enclavijan por tabla contrapeando sus juntas. Se obtienen de este modo estructuras ligeras, destinadas a la formación de cubiertas (Libro I) y techos abovedados (Libro II), que por lo general no tengan que soportar grandes cargas.
2. Diego López de Arenas, *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes, con la conclusión de la Regla de Nicolás Tartaglia y otras cosas tocantes a la ieometría y puntas del compás*. Sevilla: 1633. Ed.facsímil en Valencia: Albatros, 1982.
   Mathurin Jousse. *Le Theatre de l'art de Charpentier*. La Flèche, Georges Griveau, 1627.
3. Enrique Nuere ha estudiado en profundidad los tratados, las técnicas y las obras de los carpinteros de lo blanco en España. Respecto al tratado de M. Jousse, véase: A. L. Candelas Gutiérrez, «La carpintería de armar en los tratados de los siglos XVI y XVII», Actas del II Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1998, pp. 77-85.
4. Pierre Le Muet, *Manière de bâstir pour toutes sortes de personnes*. París, 1623. En segunda edición *...reveue et augmentée en cette seconde edition de plusieurs figures de tres beaux Bastimens et Edifices...l'invention et conduite dudit Sr. P. le Muet et autres*. París: Claude Jombert, 1647.
5. En los casi coetáneos de Savot (1624) o Mathurin Jousse (1627); en otros posteriores como el de Mathias Mesange: *Traité de charpenterie et des bois de toutes especes*. París: Ch. Ant. Jombert, 1753; o incluso en la misma Enciclopedia de Diderot y D'Alembert (1766), encontramos indicaciones y láminas prácticamente iguales a las incluidas por Le Muet.
6. Las plataformas (*platte formes o plateformes*) están constituidas por dobles soleras unidas mediante zapatas (*blochets*), con entalladura de 1-1,5 pulgadas de profundidad en forma de cola de milano. Las zapatas reciben a caja y espiga los pies de los pares principales (*maistres chevrons*), y de los postes (*jambettes*) que descargan a los pares verticalmente.
7. En todo momento se incluyen detalles constructivos, con indicación de medidas y comentarios. Las vigas penetran en el cuerpo de los muros dejando entre 4 y 5 pulgadas de separación de la cara exterior del muro. Los pies derechos deben ser lo más verticales posible, para dejar diáfano el espacio interior, siempre y cuando el material de cubierta lo permita.
8. La tabla o enlatado es el elemento que recibe el material de cubierta; suele tener 4 pies de ancho (unos 120 cm), por lo que apoyará sobre 3 cabios si éstos se separan 2 pies, o sobre 4 cabios separados 16 pulgadas.
9. Louis Savot, *L'Architecture françoise des bastimens particuliers*. París: 1624. En segunda ed.: *... Augmentée dans cette seconde Edition de plusieurs Figures, et des Notes de Monsieur Blondel del' Academie Royale des Sciences....* Chez la Veuve et C. Clouzier. París: 1685. (Edición facsímil en Ginebra: Minkoff, 1973).

10. Dora Wiebenson, *Architectural Theory and Practice from Alberti to Ledoux*. Charlotesville, 1982.
11. Se trata de un elemento de 6 pulgadas de escuadría y 12 pies de longitud (3 pies cúbicos de volumen).
12. Para casi todas ellas se recomiendan escuadrías de entre 6 y 7 pulgadas, a excepción de algunos elementos resistentes (como los pares del faldón inferior o el tirante elevado cargado, en que se aconsejan 10»x10»), o de elementos no resistentes como los cabios, lógicamente de menor sección.
13. A. C. D'Aviler. *Cours d'Architecture qui comprend les Ordres de Vignole, avec des commentaires, les figures et descriptions de ses plus beaux bâtimens*. París: Nicolas Langlois, 1691.
14. Parte de las figuras que incluye La Hire en su edición de 1702 del tratado de Mathurin Jousse, coinciden con las del tratado de D'Aviler. También Mathias Mesange (1753) copia literalmente la práctica totalidad de lo dicho por D'Aviler.
15. Pierre Bullet. *L'Architecture Pratique, qui comprend le detail du Toisé, & du Devis des Ouvrages de Massonnerie, Charpenterie, Menuiserie, Serrurerie, Plomberie, Vitrerie, Ardoise, Tuille, Pavé de Grais & Impression*. París, 1691.
16. Bullet establece como anchos más utilizados, los comprendidos entre 3 y 6 toesas (de 18 a 36 pies).
17. Entre 7 y 8 pulgadas para los jabalcones del nudillo, de 6 a 7 para los de los pares sobre el pendolón, y entre 5 y 7 para los de la hilera sobre el pendolón (situados en el plano perpendicular al de la armadura).
18. La posición de la pieza influye en su resistencia, que Bullet identifica con la carga de rotura. Así, según él, una pieza que tumbada (trabajando a flexión) soportaría una carga determinada, a 45º duplica este valor y en vertical (en compresión axial) lo triplica.
19. La Hire (1702); H. Gautier: *Traité des Ponts... tant en maconnerie qu'en charpente*. Chez André Cailleau. París, 1716; M. Mesange (1753)
20. Mediante nervios transversales pasantes (entallados sobre las viguetas y reforzada la unión con clavijas de madera o con pernos metálicos).

—Mediante piezas transversales acodaladas entre las viguetas y encastradas en éstas a golpe de maza, sobre un pequeño cajeado; debilitan menos las viguetas y permiten que el forjado quede enrasado

Mediciones y presupuestos del siglo XVIII: la solería de la catedral de Sevilla

Pedro Gómez de Terreros Guardiola

Las obras de la catedral de Sevilla se han desarrollado a lo largo de los 750 años que han transcurrido desde su conversión de mezquita a templo cristiano. De la realización de obras, y de multitud de otros variados asuntos, podemos encontrar numerosas noticias en los archivos de la Institución Colombina.

Desgraciadamente, en las desamortizaciones del siglo pasado, se retiró abundante documentación de estos archivos, malogrando los precisos índices e inventarios que, hasta entonces, habían clasificado sus fondos. Como consecuencia de esto, la búsqueda de la documentación deseada es, frecuentemente, una tarea harto laboriosa y que requiere grandes dosis de paciencia. Pese a ello, es tarea grata y amena ya que, además de tocar —literalmente— papeles escritos hace siglos, cuando menos lo esperamos, nos encontramos con sorpresas que dotan de un cierto romanticismo a la investigación.

En la actualidad, se está perdiendo esta forma de trabajo: progresivamente se está inventariando el archivo y microfilmándose sus documentos, lo que facilita enormemente los trabajos del investigador en detrimento de su misterio. Es todavía en este contexto donde en un libro de la *Sección Liturgia*[1] del año 1701 (sig. 04/002, dentro 25-B), han aparecido unos papeles sueltos intercalados entre sus páginas.

Contexto de la situación

Estos papeles son cinco manuscritos referentes al costo del solado general de la Catedral y la entrada a su Sacristía Mayor. Los documentos no están fechados ni firmados, pero en uno de ellos[2] (4) se menciona que lo que está ejecutado son *«los dos brazos del crucero»,* y en otro de ellos (2) al Maestro Mayor, que había realizado otro presupuesto, presumiblemente el número 1.

Buscando más información sobre la realización del solado de la Catedral, encontramos[3] en otro libro, sin fecha, titulado *Noticias de la Santa Iglesia*,[4] en el cual se incluye un completo informe del solado de la Iglesia, firmado por el Notario de Fábrica Francisco Antonio de Echevarría el 17 de octubre de 1793, que especifica y concreta estas obras y sus agentes. Basándonos en él podemos afirmar que los presupuestos se realizaron con posterioridad al mes de febrero de 1789, en el que se asentó la primera piedra, y con anterioridad a 1793, año en cuyo inicio se acabaron estas obras. Asimismo, relata la participación en el proyecto y ejecución de las obras del Maestro Mayor de Albañilería de la Santa Patriarcal Iglesia y su Arzobispado, Manuel Nuñez (1770-1802)[5] y de su Maestro Aparejador —y cuñado— Martín Rodríguez.

Los cambios en la administración de las obras del solado por la enfermedad y fallecimiento del Mayordomo de Fábrica a principios de 1790, la continuación interinamente de la mayordomía, y el nombramiento de un nuevo Mayordomo en el año siguiente, son los sucesos que podrían, probablemente, haber motivado el deseo de conocer la cuantía total de las obras en curso.

La solería general de la catedral de Sevilla

La actual solería general de la catedral de Sevilla fue mandada ejecutar por Auto Capitular de su Ilustrísimo Cabildo de 9 de mayo de 1779, cortándose las primeras piedras en taller el 28 de agosto de 1786. Se «sentó» la primera en la Iglesia el 28 de febrero de 1789 y se puso la última el 26 de enero de 1793.[6]

Consta de una trama de losas de dos tipos alternadas en damero paralelo a las naves de la iglesia. Los módulos son de dos tipos: losas blancas y mixtos de blancas y azules; las segundas están formadas por un cuadrado blanco inscrito en la malla girándolo 45º respecto a ella y llenando las esquinas cuatro cartabones azules. La luz de la malla es de unos 88 cm, por lo que las losas grandes son cuadradas de esta longitud; las pequeñas cuadradas son de 62 cm y los cartabones son triángulos rectángulos isósceles de 44 cm de cateto. Los espesores de las piezas son de 4 cm para las grises y unos 12 cm para las blancas, siendo éstas últimas de espesor variable, mayor en el centro.[7]

El material es mármol para todas las losas, blanco para las cuadradas y azul grisáceo para las triangulares.[8] Las canteras de ambas se han remitido en toda la documentación a mármol de Málaga, o *del país*.

Esta solería ocupa la totalidad de las dos naves laterales del templo y el centro frente a la Capilla Real, donde se le ha superpuesto, hablando en términos formales, otra solería.[9] El trascoro y el cimborrio son las únicas zonas donde cambia este solado. Presenta un encintado el mismo mármol azul rodeando las bases de los pilares y el perímetro lateral. En estas piezas el tamaño es, lógicamente, irregular, y en las piezas rectangulares de mayor longitud, sus dimensiones son de 25×114 cm, aproximadamente. La trama de la solería no tiene una modulación respecto a las dimensiones de la iglesia, de forma que se superpone a su planta, cortándose las piezas según llegan al encintado.

La solería en la actualidad, parece coincidir con las disposiciones primitivas, aunque sabemos que algunas piezas han sido sustituidas tras la caída de la bóveda en 1884, y seguramente algunas otras piezas, de las que no tenemos noticia se habrán sustituido en estos 207 años, aunque creo permanecen la disposición original y la mayoría de sus piezas.

Estructura de los presupuestos

Los cinco documentos contienen, en realidad, siete presupuestos. Los numerados 1 y 2, contienen los gastos de extracción, labra y colocación de una «losa blanca chica» con sus «guarniciones negras» y de las «losas grandes», respectivamente. El tercero, sólo se ocupa de establecer los costes de labra de los cartabones y las «blancas chicas». El documento número 4 calcula los gastos para colocar una losa *«blanca grande»* y, por proporción, las restantes piezas; además incluye el presupuesto del solado total de la Iglesia, incluyendo los «aumentos de costos» siguiendo los criterios de la obra ya ejecutada. El último de la serie no es realmente un presupuesto, sino un cómputo del número de piezas necesarias para solar la sacristía mayor.

La metrología usada es, evidentemente, la de la época, consignando las medidas y monedas en diferentes unidades. Para las longitudes aparecen pulgadas, pies, tercias y varas. Para las superficies y volúmenes, los múltiplos de las medidas de longitud, a la vez que otras más usuales y menos precisas como espuertas, o directamente, número de portes. Las monedas usadas son los maravedís, reales de vellón y pesos. Al no estar todavía impuesto el sistema métrico decimal, a veces, cuando no cuadran totalmente las cuentas, es difícil establecer cuándo los cómputos están realizados en una única medida, o los errores se pueden deber al uso de varias de ellas. Para el cómputo de estas medidas hemos tomado la siguiente equivalencia:[10]

Longitudes:	Una vara	0,836 metros.
	Una tercia (de vara)	0,278 metros.
	Un pie	0,278 metros.
	Una cuarta (de vara)	0,209 metros.
	Una pulgada	0,023 metros.
Superficie:	Una vara cuadrada	0,698 metros cuadrados.
Volúmenes:	Un pie cúbico	2,021 metros cúbicos.
Monedas:	Un peso	15 reales (510 maravedís)
	Un real (de vellón)	34 maravedís.

PARTIDAS

Los costes de extracción que se consignan incluyen los precios del bloque de piedra, su transporte en barco desde Málaga a Sevilla, los derechos de muelle y el transporte desde el río hasta el taller de aserrado en Sevilla.

Es extraña la procedencia de las piedras, y sería útil conocer la existencia de estas canteras en Málaga. En la actualidad, no existen tales en el anuario ROC[11] de fabricantes de piedra, lo que suscitó dudas acerca de la procedencia de esta piedra. Posteriormente, pese a que en estos documentos sólo se habla del embarque de la piedra desde Málaga a Sevillan, especifica expresamente que se extrajo de las canteras de este obispado, y que se embarcó en su muelle. Por si existieran algunas dudas, Joaquín de la Concha Alcalde en su Proyecto de Restauración de la solería de la Catedral de 1901,[12] escribe en la correspondiente memoria su procedencia: «...mármol blanco de Málaga, alternadas con otras de igual clase [..] pero colocadas de esquina, cubriendo los espacios cartabones de mármol azul de Málaga...», aunque en el presupuesto les otorga, a estas últimas, procedencia italiana. Sería de sumo interés, para futuras restauraciones, la localización de estas canteras.[13]

La labra de las piedras es, en la práctica, un informe de cómo se realizó esta faena. A los bloques de piedra se le daban tres cortes para obtener cuatro losas, los gastos de estos cortes incluyen los jornales de aserradores, hojas de sierra, arena (como abrasivo), y los portes del agua y la arena hasta el taller. Posteriormente las piezas, tras regolarlas,[14] se labraban, igualaban y bruñían, lo que genera los consignados gastos de oficial para el regolado, cantero para la labra, bruñidor para igualarlos y bruñirlos, además de la arena gastada en el bruñido. Finalmente un cantero escuadraba las losas, cuyos jornales sumados a los gastos de transporte de las piezas desde el taller a la Iglesia, suman el cómputo total de la labra. Los gastos restantes, que se consignan en los presupuestos son las herramientas, los ya entonces conocidos como «otros gastos» y los jornales para su colocación.

Las diferencias con un presupuesto de obras actual son evidentes, ya que hoy partiríamos directamente del precio de la pieza suministrada en obra al que sumaríamos únicamente las partidas correspondientes a los jornales y herramientas para su colocación además, evidentemente, de los «otros gastos» correspondientes. Un ejemplo posterior sería el seguido por D. Joaquín de la Concha Alcalde, que en el citado Proyecto de Restauración de la solería de la Catedral, para las naves del templo, enumera las partidas correspondientes de la siguiente manera:

m² de losas de mármol blanco del país de 4 cm (9,58 m².)

m² de piezas triangulares de mármol azul de Italia de 4 cm de espesor (1,55 m².)

Y en la actualidad, la realización de un presupuesto sería algo parecido a lo siguiente: m² de solado con baldosas de mármol «blanco Málaga» de 88 × 88 cm y 12 cm de espesor, recibidas con mortero de cal M-20c (1:3), incluso nivelado con capa de arena de 10 cm de espesor medio enlechado, pulido, abrillantado y limpieza del pavimento; construido según NTE/RSR-1. Medida la superficie ejecutada.[15]

Si quisiéramos avanzar en el presupuesto, tendíamos los «precios descompuestos», que tendrían la siguiente estructura:

— horas de oficial 1ª solador
— horas de peón especial
— m³ de arena fina
— m² de baldosa mármol «blanco Málaga» 88 × 88 × 12 cm.
— m² de pulido de solería
— m³ de lechada de cal
— m³ de mortero de cal M20 c (1:3)
— 3% costes indirectos.

Para las losas blancas chicas y los cartabones azulados tendríamos que proceder de idéntica manera.

Curiosamente, en la evolución de los presupuestos se ha producido un cambio fundamental, más de fondo que de forma. Mientras que a finales del XVIII se computaban mayoritariamente los gastos de extracción, transporte y labra, en la actualidad la pieza se considera suministrada en obra ya tallada, valorándose fundamentalmente su colocación. Es decir, los técnicos ya no participamos de la fabricación del material, sino que lo controlamos únicamente a partir de su llegada a la obra. Dentro del proceso las diferencias son la mecanización de los cortes y labra, además de pulirse las piezas en el taller, siendo esta operación actualmente ejecutada en la obra, en la mayoría de los casos.[16]

	Losa Blanca Chica (1)			**Guarniciones negras (1)**			**Losa grande (2)**			**Labra de cartabón (3)**						**Labra de blancas chicas (3)**			**Losa blanca grande (4)**			**Costo Real**
	Uds.	**Precio**	**Costo**	**Uds.**	**Precio**	**Costo**	**Uds.**	**Precio**	**Costo**	**Uds.**	**Precio**	**Costo**	**Uds.**	**Precio**	**Costo**	**Uds.**	**Precio**	**Costo**	**Uds.**	**Precio**	**Costo**	**Total**
Extracción y Transporte																						
Piedra en bloque	16,25	13	211,25	3,33	14	*46,22*	16,25	13	211,25										3,128	13	*40,22*	*425.144,13*
Flete de piedra	16,25	4,25	69,06	3,33	4,25	*15,10*	16,25	4,25	69,06										13,125	4,05	*12,22*	*141.718,23*
Muellaje	1	4	4,00	1	4	4	1	4	4,00										1	0,28	0,28	20.936,22
Porte desde muelle al obrador	1	8	8,00	1	8	8	1	8	8,00										1	1,16	1,16	37.010,20
Total extracción y Transporte		4 losas	292,31		4 losas	73,32		4 losas	292,31											cada losa	**53,88**	**624.808,78**
		cada losa	**73,08**		cada 2 losas	**36,66**		cada losa	**73,08**													
Labra en taller																						
Jornales de aserradores	24	12,5	300,00	9	12,5	*112,16*	9	16,25	*196,25*	7	12,5	*87,17*	40	12,5	*125,00*	1	43,75	*43,26*	-	-	41,20	
Hojas de sierra	1	24	24,00	1	24	24	1	24	24,00	0,25	0,338	*8,08*				1	2,875	*2,30*	-	-	8,14	243.609,20
Espuertas de arena	50	0,2353	11,77	1	8	8	50	0,2353	11,77	30	0,206	*6,06*	40	0,0295	*8,08*	100	0,0295	*2,20*	-	-	2,00	
Jornales por porte de agua y arena										1	4,17	4,17				2	4,5	9,00				
Horas de oficial para regolado							2	1	2,00	1	1,765	*1,26*				2	0,63	1,26	-	-	1,00	
Días de labra de cantero	16	9	144,00	8	9	72	16	9	144,00	12	9	108,00				3	9	27,00	-	-	25,00	
Jornales para igualar													5,33	5	*31,18*							1.461.142,10
Días de bruñido	8	20	160,00	16	6	96	14	5	70,00	1	63,17	63,17	16	6	96,00	-	-	10,00	-	-	20,00	
Asperones y arena para bruñir	1	3	3,00				1	3	3,00							-	-	0,14				
Jornales para recortes de escuadrar							4	9	36,00	6	9	54,00	10,67	9	*96,00*				-	-	8,00	
Gastos de herramientas							1	25	25,00													
Transporte del taller a iglesia																			-	-	1,00	
Total Labra en Taller		4 losas	642,77		4 losas	312,16		4 losas	512,02					32 cartabones	*690,44*		cada losa	*97,14*		cada losa	**106,34**	**1.704.751,30**
		cada losa	**160,69**		cada 2 losas	**156,08**		cada losa	**128,00**					cada 2 losas	**86,31**							
Suman extracción transporte y labra		4 losas	*935,00*		4 losas	*385,50*		4 losas	*804,80*											cada losa	***164,20***	***2.329.561,00***
		cada losa	**233,75**		cada 2 losas	***192,5***		cada losa	**201,20**													
Colocación y otros costos																						
Herramientas y otros gastos	1	6,25	6,25																			
Jornales para colocación	4	9	36,00	4,00	9,00	36,00																
Total Colocación y otros costos		cada losa	**42,25**		cada 2 losas	**36,00**		cada losa	**0,00**												**0,00**	
TOTAL CADA LOSA (o 4 cartabones)			**276,00**			**228,50**			**201,20**												**164,20**	

Suman una losa blanca con guarnición (2 negras) **504,5**

Por proporción, obtenemos para las otras piezas

Blanca chica (4) **92,18**

4 Cart. azulados (4) **112,64**

Vara de encintado azul **65,85**

Presupuesto inicial
1.166.709,00
Redondeo
1.500.000,00
40% aumento
2.100.000,00

El cómputo total

Para el costo del total del solado, parten del precio de cada una de las losas blancas «grandes» y «chicas», y de dos piezas negras partidas, o sea cuatro cartabones o una «guarnición»; también aparece una nueva solería: el encintado azul de los pilares y líneas de capillas, que se obtiene directamente por proporción.[17] Establecidos estos precios se computan el número de piezas de dos «bóvedas chicas», que parece ser el «tajo» que se abarca de una vez «... uniendo dos bóvedas como las que en el día están entre manos...», el coste de las mezclas y los jornales. A todo esto se suma un tercio en material desperdiciado, herramientas y costos imprevistos, y se obtiene el precio del solado de las dos bóvedas mencionadas. Multiplicando la cantidad obtenida por las 34 bóvedas chicas, y sumando otras dos correspondientes a la Capilla Real, y diez del crucero, obtienen el costo total de la obra.

Curiosamente se hace un aumento-redondeo inicialmente estimado del 28,5%. al que posteriormente[18] se le corrige, siguiendo las obras ejecutadas, aumentando este presupuesto en un 40%.

Comparación de presupuestos

Para la comparación de los distintos aprecios, hemos separado las partidas según aparecen en los documentos, diferenciando los capítulos de extracción, labra y puesta en obra. Si con ésto hacemos un cuadro comparativo obtendremos los resultados que se expresan en la tabla anterior.

Los errores observados en las sumas son frecuentes, pero su importancia es muy poco significativa, por lo que me he limitado a señalar las cifras erróneas, manteniendo su valor inicial, para evitar complicaciones que no aportan datos significativos.[19]

Si ponemos juntos los resultados de cada uno de estos capítulos, obtendremos lo siguiente:

Como podemos fácilmente observar, los precios varían enormemente en todos los apartados, con diferencias aproximadas del 100% en alguno de ellos. Estas diferencias no se producen en los precios de los productos ni en los salarios de los operarios, sino en la cantidad de ellos que son necesarios para este fin.

Una vez estimados los precios de colocación de cada pieza, se procede a estimar el precio solado total, procediendo de la siguiente forma: se estima el número de piezas (70 por cada tipo) que entran en «dos bóvedas chicas» de los laterales del templo; a continuación se cuentan, nombrándolas, el número de bóvedas laterales y ante la Capilla Real, hallando el precio del solado de la suma de éstas; a lo obtenido se le añade el costo, ya estimado, de la pavimentación del crucero, teniendo el cómputo total que se redondea con un aprecio del 28,5%. Sin embargo, al no cuadrar los costos obtenidos con lo ejecutado en el mismo crucero, se hace un segundo aprecio del 40%.

Si suponemos los documentos 1 y 2 como pertenecientes a un mismo presupuesto global, seguramente promovido por el Maestro Mayor, basándonos para ello en la coincidencia en los costos de extracción y en la referencia del segundo al primero y su autoría, podemos reconstruir fácilmente el presupuesto número 4, cambiando los costos de cada una de las piezas. De esta forma, y manteniendo los mismos costes de las restantes partidas (jornales de operarios, morteros, guarnición, etc.), tendremos los siguientes resultados:

Costo de dos bóvedas chicas	61.474
Un tercio de aprecio por desperdicios y otras causas	20.491
Total de costos de dos bóvedas chicas	81.965
Por las 36 bóvedas de la Iglesia	1.475.376
Por los brazos del crucero ya ejecutados	253.630
Suman	1.729.066
28,5% de aprecio	492.784
TOTAL	2.221.850

	losa blanca chica	guarniciones negras	losa blanca grande
Extracción	73,08 (1)	33,66 (1)	73,08 (2)
	53,88 (4)		
Labra	160,69 (1)	156,08 (1)	128,00 (2)
	74,14 (3)	86,31 (3)	106,34 (4)
Colocación	42,25 (1)	36 (1)	—
TOTAL	276,00 (1)	228,50 (1)	201,20 (2)
	92,18 (4)	112.64 (4)	164,20 (4)

NOTA: los números entre paréntesis indican el documento de procedencia del dato

Estos resultados se aproximan enormemente a los costos reales, sin la necesidad del posterior ajuste que se realiza en el cuarto documento, por lo que los precios de los materiales y demás gastos, parecen ser más reales que en el presupuesto del quinto documento.

Sin embargo, existe una segunda explicación a este desajuste de presupuesto. La base del mismo se halla en que para solar dos «bóvedas chicas» se necesitan 70 piezas blancas y otras 70 «mixtas». La trama usada y el irregular tamaño de las bóvedas, no permite calcular con precisión el número de piezas que entran en ellas, estando muchas losas entre dos bóvedas, partidas en el encuentro con los pilares, etc.; pero si consideramos que una bóveda «media» tiene 10,95 × 10,95 m,[20] serán necesarias unas 140 piezas, 70 blancas grandes y 70 de las otras, bajo cada bóveda, no bajo cada dos de ellas, como se ha estimado en los cálculos anteriores.

Si repetimos los cálculos anteriores siguiendo este criterio obtendremos lo siguiente:

Costo de una bóveda chica	38.045
Un tercio de aprecio por desperdicios y otras causas	12.681
Total de costos de dos bóvedas chicas	50.726
Por las 36 bóvedas de la Iglesia	1.826.144
Por los brazos del crucero ya ejecutados	253.630
Suman	2.079.734
28,5% de aprecio	592.735
TOTAL	2.672.469

Resulta una cifra dentro de unos márgenes aceptables, y aunque el error de partida es colosal, la explicación es bastante plausible.[21]

Otra anomalía detectada es la dimensión de los bloques de piedra iniciales. En los documentos número 1 y 2, para la extracción de las losas blancas «grandes» y «chicas» se parte de un bloque de 93×90×42 cm, de los que se obtienen cuatro hojas de 14 cm de espesor para tallar en ellos las losas de 88 ó 62 cm de lado. Sin embargo para las «guarniciones negras» que son triángulos rectángulos de 44 cm de catetos y 62 de hipotenusa, los bloques miden 93×28×28 cm, según se desprende del documento 1, y de 188×42 cm (no especifica grueso), según el documento 3.

Lógicamente, las dimensiones mínimas del bloque deberían ser las de las los lados de las losas cuadradas y la altura de los triángulos en las guarniciones (31 cm), e incluso mayores para poder escuadrar y perfilar las piezas. Ocurre de esta manera para las losas grandes, sin embargo para las chicas se desperdicia una gran cantidad de material. En el caso de las guarniciones azuladas, las piezas no se podrían obtener a partir del bloque descrito en el primer manuscrito; ni del bloque descrito en el tercero, salen los 32 cartabones.

Conclusiones

Con todo lo expuesto, podemos afirmar lo siguiente. La operación del solado general de la catedral de Sevilla se realiza entre los años 1779 y 1793. Una vez comenzadas las obras, comenzando por el crucero, se encarga la realización de un presupuesto del costo general de las mismas. Este presupuesto se realiza, al menos, por duplicado, existiendo notables diferencias entre los costos, que no los precios, que de ellos se desprenden.

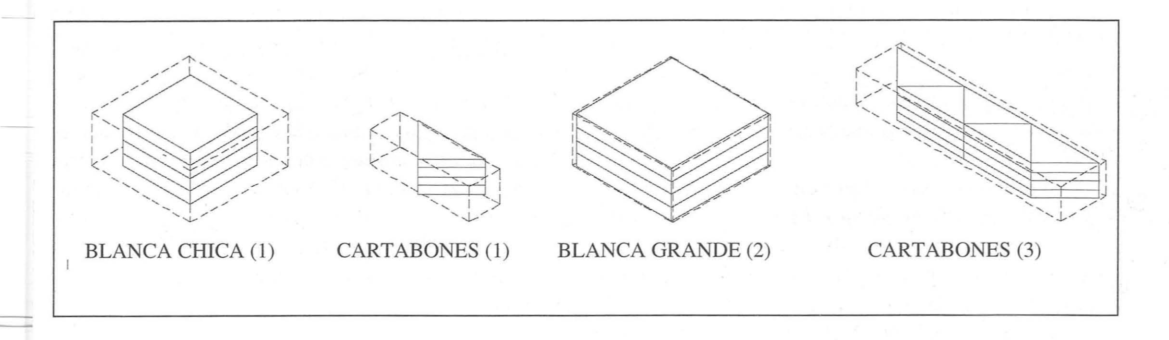
No obstante, los presupuestos son minuciosos, y de ellos podemos obtener tanto los procedimientos de fabricación y ejecución como los precios de materiales, tasas, transporte, herramientas y salarios de casi todos los intervinientes en las obras.

Parece desprenderse un error de cómputo al calcular el número total de piezas que se ejecutan. Dicho error se corrige directamente mediante un porcentaje respecto a la obra ya ejecutada, sumando una aprecio total del 80%, aproximadamente, sobre los costos de obra.

La descripción de las losas blancas «grandes y chicas» concuerda con las dimensiones de los bloques de piedra iniciales, y no ocurre así en la obtención de los «cartabones azulados».

Las obras estuvieron bajo la supervisión técnica del Maestro Mayor y de su aparejador, que participaron desde el inicio del proceso y, al menos parcialmente, en estos presupuestos.

Por último, el sistema de realización de los presupuestos es muy similar a los realizados en la actualidad, aunque son mucho más precisos, partiendo directamente desde los costos unitarios e incluyendo a la totalidad del proceso, desde la extracción del material hasta su acabado, lo que supone un conoci-



miento y control exhaustivo de todas las fases y procedimientos incluidos en las obras.

NOTAS

1. Esta sección tiene como objetos los documentos producidos por el Cabildo en relación al culto público y solemne de la Iglesia. P. Rubio: *Archivística Eclesiástica*, Sevilla, 1999, p. 94.
2. Para facilitar la lectura, he ordenado los diferentes presupuestos del 1 al 5, siguiendo el orden que parece mas lógico; los números entre paréntesis indican el número del documento al que se hace referencia.
3. Las referencias a este informe se encuentran en el libro de R Luna y C. Serrano: *Planos y dibujos del archivo de la Catedral de Sevilla*, Sevilla, 1986, pp. 26 y 27.
4. A.C.S. Sección VIII: Varios, sig. 61-B.
5. Las fechas de su dedicación a este cargo provienen de www: arquired.es/users/giralda.
6. Ibid. No se aclaran las causas que motivan a sustituir la antigua solería de ladrillo, aunque en estas mismas fechas se está procediendo a cambiar los lugares de enterramiento del interior de las iglesias a los cementerios situados en las afueras de los núcleos poblaciones. A continuación de este documento se describen las criptas existentes bajo el pavimento de la iglesia, así como las distancias al cementerio, lo que parece señalar en esta dirección.
7. Según me ha transmitido el actual Maestro Mayor D. Alfonso Jiménez Martín.
8. La diferencia de estas losas «azules» y el habitual mármol «negro», es patente en el trascoro.
9. No he visto indicios ni conozco referencias que indiquen si estas dos solerías se ejecutaron a un mismo tiempo o una se superpuso a la otra y, en este caso, cual puede ser anterior.
10. Obtenida de los Anejos del Catálogo de la exposición: *Felipe II, los ingenios y las máquinas*, organizada por la Sociedad Estatal para la Conmemoración de los Centenarios de Felipe II y Carlos V, en septiembre-noviembre de 1998. Pese a referirse a una época anterior a las obras, y verificarlos con el Diccionario de la Real Academia Española, los he adoptado por ser muy completos e incluir, entre otros, los precios, salarios y metrología de entonces.
11. *Piedras Naturales de España*, Anuario 1999, (12 ed.), Ed. ROC Máquina, S.L.
12. A.C.S., Sección IV *Fábrica*, Documentos de la Junta de Obras (1881-1929), legajo 45, expediente nº 2.
13. Según los autores de la ponencia: *«Dibujos de Pavimentos de la Catedral de Sevilla»* dirigida por R. Lucas Ruiz, para el *IV Congreso de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación*, celebrado en Barcelona los días 3 al 5 de diciembre de 1997, estas canteras, propiedad del Cabildo, están en el pueblo de Teba (Málaga). En el Ayuntamiento de dicha localidad, efectivamente, conocen la existencia de una cantera que actualmente se encuentra sin explotación por estar bajo prospecciones arqueológicas pero el material es de tono rojizo, y me remitieron a la empresa Mármoles Aguilera, último concesionario de la extracción de estas canteras, quienes me confirmaron —telefónicamente— lo ya señalado por el municipio y que «han oído» hablar de la existencia unas canteras «hace mucho tiempo» muy cerca de Málaga capital, de las que se extraía mármol blanco.
14. No he encontrado otra acepción para este término que sea distinta de «hacer regolas «; no encuentro otra explicación que se refiera al trazado del el replanteo de las losas sobre los bloques haciéndoles estas regolas a modo de maestras.
15. *Banco de Precios de la Construcción*, editado por la Fundación Codificación y Banco de Precios de La Construcción de 1999, tomando de éste las piezas mas parecidas que, creo, son del solado de mármol Macael de 50×50.
16. Solamente se pulen en taller aquellas piezas, como los revestimientos de escaleras, aplacados, encimeras, etc., cuyo pulimento no se puede realizar una vez colocadas.

17. Estas piezas sólo se mencionan en el documento número 5.
18. Está realizado con distintas caligrafía y pluma.
19. Inicialmente, esta tabla contenía también los valores corregidos pero, tras arrastrarlos hasta el final del cálculo, llegué a esta conclusión.
20. Las dimensiones provienen de: Jiménez, A. y Pérez, I: *La Cartografía de la Montaña Hueca: notas sobre los planos históricos de la Catedral de Sevilla*, ed. Cabildo Metropolitano de la Catedral de Sevilla, Sevilla, 1997.
21. Esta extraña coincidencia, nos invita a pensar si no se habrán mezclado los precios de un presupuesto (docs. 1 y 2) con los cómputos realizados para el otro (doc. 3), aunque no tenemos base alguna para defender este razonamiento.

Análisis constructivo de la iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias) basado en el proyecto de restauración por Javier Aguirre en 1886

Mª Del Mar González Martínez
Marta Mª Sierra Llamas
Silvia Arbaiza Blanco-Soler

Javier Aguirre fue nombrado por Real Orden de 20 de Junio de 1885 arquitecto restaurador de la Iglesia de San Miguel de Lillo, de cuyo cargo tomó posesión el 12 de Agosto del mismo año. Desde ese mismo momento comprendió las grandes dificultades con que había de tropezar para resolver un problema tan complejo, como era el de reconstruir a su primitivo estado y dándole el verdadero carácter de la arquitectura de aquél tiempo, un templo que en el transcurso de diez siglos había sufrido distintas reformas y mutilaciones, no del todo conformes con el estilo de la época de su fundación.

Poco versado en estudios arqueológicos, como él mismo reconoce, las dificultades fueron mucho mayores; y por el solo deseo de dejar en buen lugar la profesión que ejercía, intentó aproximarse todo lo más posible a la verdad.

No había aún terminado del todo los trabajos preliminares de exploraciones y excavaciones que le habían de dar algo de luz en este asunto para poder formular con algún acierto el proyecto de restauración, cuando el Gobierno de S.M. le participó haber cesado en dicha comisión, encargándole entregase los trabajos en el estado en que se encontraran. Le faltaba ordenarlos y darles forma para poderlos presentar debidamente, y no como colección de croquis y borradores, que no daban idea ni aproximada de lo que había tenido que trabajar para llegar á este resultado, y solicitó sin subvención alguna, una prórroga, que le fue concedida en estas condiciones por la Dirección General de Instrucción Pública. Hechos estos trabajos, los presentó declarando ante todo que no tenía la pretensión de haber resuelto de una manera completa el problema que se le encomendó, sino que se daría por muy satisfecho en haber dado un paso más en este asunto bastante debatido ya entre los arqueólogos.

La Iglesia de San Miguel de Lillo, declarada monumento nacional en aquella época, fue fundada en unión de la de Santa María de Naranco, por el rey Ramiro I, en los últimos años de su reinado, años de paz y tranquilidad, después de algunos de lucha, ya con los pueblos que se alzaban en armas contra su Rey, ya con los bandidos y hechiceros que por distintos puntos invadían el reino, ya con los normandos que empezaban a asolar las costas y poblaciones limítrofes.

Mucho se ha discutido sobre el emplazamiento de ese sitio real de verano en la vertiente sur de Naranco, en el punto en que hoy existen estos dos templos. Cronistas antiguos hablan de palacios y baños, sin que hasta la fecha de 1886 se encontrara resto alguno; y aún en aquellos días ha habido quien sostenía la idea de que el edificio hoy conocido por Santa María de Naranco fue en un principio el palacio de Ramiro I. Sin entrar de lleno en este género de discusiones, no deja de ser muy extraño para Aguirre que en los primeros tiempos de la reconquista, el rey Ramiro levantara dos templos tan próximos en un punto de muy escasa población, cuando es de presumir que el país no estaría para gastos superfluos, teniendo que sostener una lucha interrumpida durante siete siglos; y dada la estructura del edificio, no es muy des-

cabellada la idea de que Santa María fuese en un principio la residencia de los reyes de Asturias desde Ramiro, y, su próxima de San Miguel, el verdadero templo. Sobre esto el arquitecto volverá a insistir más adelante al analizar esta iglesia.

¿Fue la primitiva la disposición que hoy presenta en su planta este templo? Esta es la primera cuestión que tuvo que resolver, y para él la más sencilla, pues con una ligera ojeada al plano de distribución de 1886 que acompañó (figura 1), tomado, según él mismo afirma, con toda exactitud sobre el terreno, se comprende que el edificio sufrió reformas de consideración que redujeron bastante su primitiva traza. Sobre las causas que pudieron originar estas reformas, hay que tener muy en cuenta el emplazamiento de este edificio. Le separa del conocido hoy día por Santa María de Naranco, un barranco por el que discurría el arroyo llamado Lillo, el cual arrastraba en su curso ordinario los abundantes manantiales de gran parte de la montaña, aumentando torrencialmente su caudal en épocas de lluvia. Muy próximo a este arroyo, elevado unos seis metros sobre su cauce y en una explanada artificial se encuentra construido este edificio en la ladera izquierda aguas arriba; y la particularidad de estar el ábside en la parte de terraplén, fueron bastantes circunstancias para que no resultara

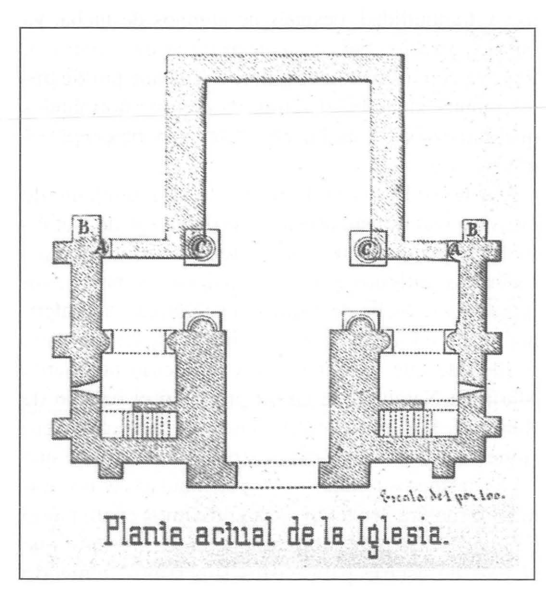


Figura 1
Planta de la iglesia en 1886

muy aventurada la siguiente hipótesis: el templo en su principio tenía mayores proporciones, pero a consecuencia de la lenta y continua acción de las aguas del arroyo o de la repentina de una gran avenida, se resintieron los cimientos de su mitad posterior ocasionando la ruina de la misma. En la planta distingue la parte que considera de la primitiva construcción, de la parte reformada, y analizó la relación que pudiera existir entre ambas.

En primer lugar, le llamaron la atención dos pilastras *A* en los muros laterales, de sección semicircular y con bases y capitales idénticos a los de las columnas del crucero, y sobre sus capiteles existen arcos con la misma construcción y decoración de las de la nave central. Si la construcción primitiva no era más que lo que comprendía la planta existente en aquel momento, no conducía a nada el hacer redondas las columnas *C*, así como sus capiteles: las pilastras *A* que habrán de taparse en la totalidad por el muro intermedio y el arco superior; pero además, en segundo lugar, observó que el muro que cierra este arco era de construcción muy posterior, pues en él existían trozos de impostas y piezas extraídas de los contrafuertes exteriores del templo, y los estribos ó contrafuertes *B* de moderna construcción por la conservación de sus materiales. De aquí se desprende claramente que los muros entre las columnas *A* y *C* no existían anteriormente, sino que, dejando paso limitado por el arco superior el templo, constaba de tres naves; dónde debían concluir estas naves lo veremos más adelante.

Pasando al análisis de los muros laterales, de lo que en 1886 es ábside, se observa lo siguiente: sobre las columnas *C* en que se apoyan los arcos de lo que puede considerarse crucero, se observa el arranque de otro arco idéntico en luz y decoración (figura 2). El ser las columnas *C* circulares y el arranque del segundo arco, demuestran que las columnas debían quedar aisladas entre la nave central y las laterales, continuando la misma disposición de arcos en el sentido del ábside; por consiguiente, los muros laterales del ábside, los que cierran los arcos entre *A* y *C* y los estribos *B* son de construcción posterior, y con la disposición de las tres naves y continuación de arcos, Aguirre consideró haber dado un paso sobre seguro en la reconstrucción de este templo.

Demostrado ya el primer punto, o sea que la planta del templo que estudió el arquitecto no fue la primitiva, pasó al que ofreció mas dificultades, el de

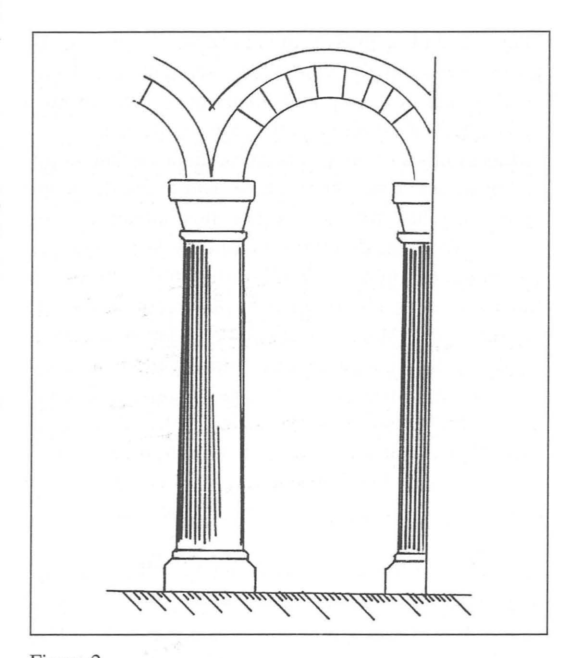


Figura 2
Detalle de arcadas

restaurar la que presentaba cuando la fundó el rey Ramiro.

En el Museo Provincial de Monumentos Arquitectónicos y en el mismo templo, ya en los muros reformados, ya diseminados por el suelo, existían muchísimos elementos de construcción correspondientes a esta Iglesia, los cuales era necesario colocar cada uno en su verdadera o probable situación, para deducir de esta manera lo que pudo ser en un principio este antiquísimo edificio. Por las razones anteriormente expuestas, era indudable que las arcadas del crucero se repetían en la nave central, dando las mismas pero en las laterales; para ello disponía Aguirre de basas idénticas a las de las columnas existentes, y *donde hay basas debieron existir fustes y capiteles*, aunque no se encontraran estos elementos completos, además existían muchos deshechos en los muros antes indicados, y una de estas basas se aprovechó en el nuevo campanario construido en aquella época (1886) en la iglesia de Santa María. Existían basas suficientes para continuar las naves en la forma indicada; sólo faltaba averiguar donde concluían éstas. El arquitecto disponía de cuatro basas, dos en el Museo, una en el templo y la del campanario de Santa María; es decir, que cuando menos había cuatro columnas más, y con ellas podía completar la planta, tal como él la imaginaba. Desde aquí en adelante Aguirre partirá de hipótesis más o menos ciertas, puesto que no existían datos de más seguridad.

Con el deseo de poder fundar en algo su proyecto, hizo por su cuenta excavaciones en la continuación de los muros laterales, pero a pesar de haber profundizado cerca de cuatro metros en algunos puntos, no encontró vestigio alguno de cimentación, aunque también asegura que no se llegó al terreno firme, si no que todo era artificial, producto de terraplén sobre el barranco indicado. Ahora bien, teniendo en cuenta que la curvatura del segundo arco cuyo arranque existe en la nave central es el mismo del arco del crucero, completando este y repitiéndolo una vez más en lo que es ábside, da exactamente para otros dos arcos, y abriendo los arcos de las naves laterales y continuando estas en la misma disposición, resulta la planta simétrica (figura 3).

Con esta disposición, la planta resulta de tres naves, dentro de una superficie cuadrada, tal como la indican algunos cronistas antiguos, con ábside recto y no en curva, como antes de 1886 se había tratado de restaurar, con tres capillas para las tres imágenes de que hablan los historiadores antiguos, y las cuales se conservaban en aquella época en el Museo Provin-

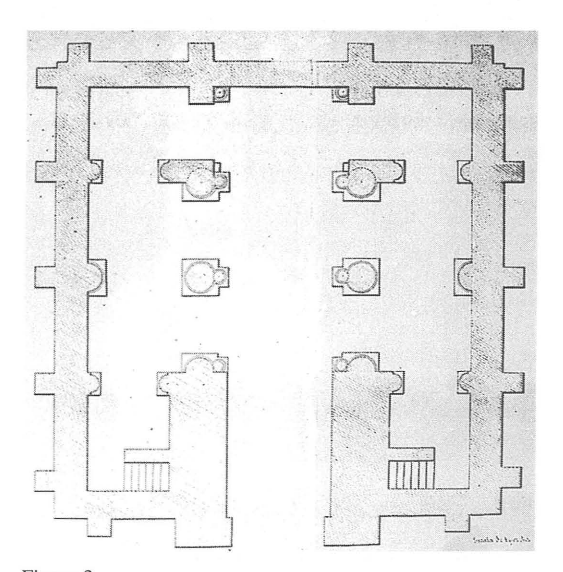


Figura 3
Planta restaurada

cial, y por último, con la forma de cruz griega. Sobre las seis grandes columnas de la nave central, colocó la actual bóveda en cañón recto, la cual consideró que debía prolongarse más, hasta terminar sobre el segundo arco, porque existe el arranque de éste y la imposta de doble cordoncillo, interrumpida en la intersección de los muros y la bóveda cilíndrica, y además porque el arco idéntico al del coro y al muro de testero que limita esta bóveda alta, observó que eran de construcción posterior, teniendo en 1886 por asiento los muros del ábside reformado, pero que su verdadero asiento no pudo ser otro que el de las columnas de los segundos arcos. Construyendo con estos datos las fachadas laterales una de las cuales incluyó entre los planos (figura 4), resulta bastante uniforme, puesto que se acusa bien en ella la disposición de las bóvedas y crucero de las mismas, la nave del altar mayor a la misma altura y con bóveda análoga a la del coro, y las laterales más bajas y a un mismo nivel con la parte anterior conservada de la primitiva construcción y que conduce a las estrechas y empinadas escaleras del coro. Llamó mucho la atención al arquitecto que el acceso a dicho coro fuera por dos escaleras iguales y simétricas a derecha e izquierda del eje longitudinal, así como los dos reducidos locales en la misma primitiva disposición; sobre esto, unos sostienen que serviría para guardar libros y demás objetos del culto, y hasta se dice que eran lugar de descanso de los reyes. De admitir que

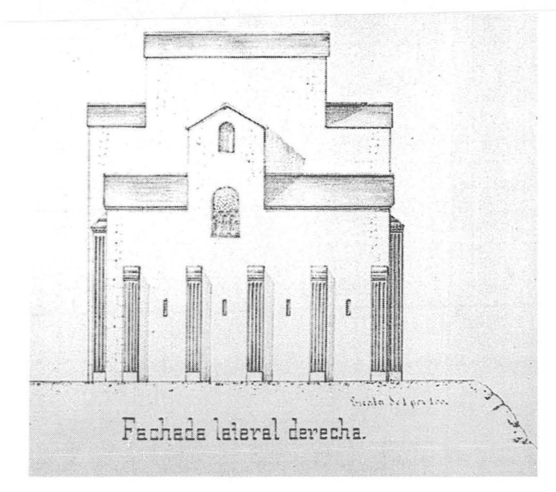


Figura 4
Fachada lateral derecha

Santa María fue en un principio palacio regio, no dejaba de ser admisible esta última versión; pero dejando a un lado estas apreciaciones más o menos fundadas, pasó al estudio de otro punto importante.

Las grandes basas y columnas, cuya verdadera posición ha quedado determinada, son todas de piedra arenisca; y las crónicas antiguas nos hablan de capiteles y columnas de mármol blanco y jaspe; unos fijan en doce el número de ellas, mientras otros las reducen a ocho: efectivamente, tal y como asegura Aguirre, en el Museo Provincial existían siete capiteles de mármol y algunos fustes del mismo material, y otros de jaspe rojo, que en unión de otros existentes en el templo tirados por el suelo, no llegaban al número de capiteles. Los fustes tienen un metro quince centímetros de longitud por veintitrés centímetros de diámetro, y los capiteles son proporcionados a los mismos.

¿Dónde y de qué manera estaban colocados estos elementos de construcción? Tal es el problema que en ese momento se presentó al arquitecto. En los repetidos reconocimientos que hizo en el edificio, no daba con una solución satisfactoria, pero por último encontró ciertos detalles en las grandes columnas del crucero y en la disposición de los capiteles, que le hicieron ver con alguna claridad la situación que debieron ocupar estos elementos, a los que había que agregar dovelas de piedra caliza con ligera ornamentación, que también se conservaban tanto en el templo como en el Museo. Aguirre indica que debemos fijarnos bien en la disposición que presentan las basas de las grandes columnas del crucero, y para más claridad acompaña un detalle de las mismas (figura 5). Empotrada en la misma existe otra basa menor de cuarenta y tres centímetros de lado con las molduras correspondientes y sección circular, para servir de asiento a una columna: esta sección tiene veintitrés centímetros de diámetro, que es el mismo de los fustes de mármol y jaspe, prueba inequívoca de que esta era la base de sustentación de los mismos. Pero si esto no fuera suficiente para señalar éste como lugar de asiento para dichas columnas, aún encontró más datos. Los fustes de las grandes columnas tenían en una altura de más de un metro una rozadura curva, en la que se ajustaba perfectamente la de las pequeñas columnas; por último, en algunos capiteles se observaba en una de sus caras otra rozadura para adaptarse a su vez a la curvatura de las grandes columnas. A partir de la curvatura de algunas dovelas que existían en el Museo, comprobó

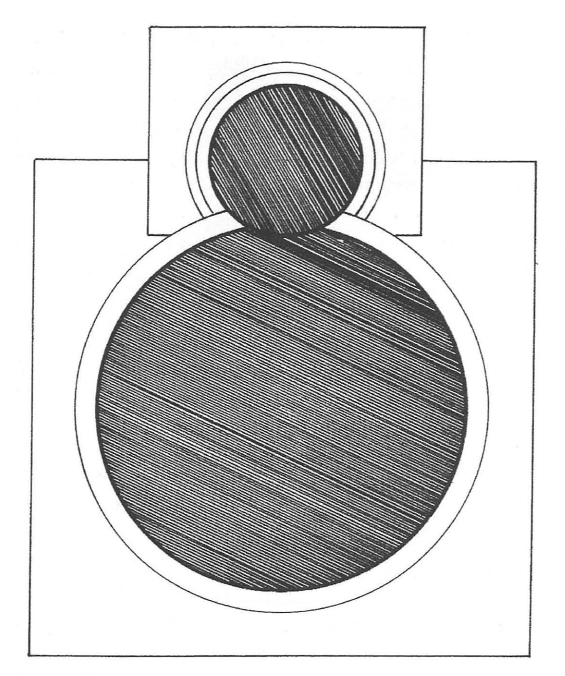


Figura 5
Sección de las columnas

dos naves laterales en comunicación directa con las dos tribunas podían ser para exclusivo servicio de los reyes, mientras la nave central lo era para el público.

Tal fue, a grandes rasgos, el proyecto de restauración realizado por Javier Aguirre, en el cual aún había algunos detalles que estudiar, que la falta de tiempo le obligó a pasar por alto, si bien por otra parte sería inútil inventarlo mientras no se analizara si la solución que presentó como disposición general de este edificio fue o no la que tuvo en un principio.

A la memoria acompañó los planos siguientes: Planta y fachada principal del templo en el estado actual (figuras 1-6); planta (figura 3), sección longitudinal (figura 7) y fachada lateral (figura 4) restauradas, como consecuencia de todos sus trabajos de investigación, y por último, varios detalles (figuras 2-5-8-9)como base de sus ulteriores apreciaciones.

Como anteriormente manifesté, no tengo la pretensión de haber resuelto el problema, si bien mi deseo no era otro; pero me daría por satisfecho con que este ligero trabajo abriese campo para que personas mas compe-

que venía a ser muy aproximadamente la misma de los arcos superiores, razón de más para poder sostener que la colocación de esta segunda serie de arcos era la que indica en la sección longitudinal del edificio en la primitiva disposición. En los capiteles existentes en el Museo Provincial se observaron otros detalles dignos de tenerse en cuenta. Había dos con dos cortes o secciones en dos lados contiguos, y su posición parece ser de una pilastra de ángulo, en este caso las primeras bajo el coro; hay otro medio, con fusta semicircular, y éste en unión de otro igual podía haber estado colocado en el frente del ábside. Dados los elementos de que disponía y las razones anteriormente expuestas, el arquitecto no vio otra manera de colocarlos debidamente en este edificio que la anteriormente indicada.

Las capillas laterales las proyectó cerradas con arcos iguales a los que existían cuando realizó estos trabajos para dar entrada a las escaleras de acceso a la tribuna. De esta manera, y partiendo del supuesto que este templo fuera levantado por Ramiro I, para su uso particular, en primer término, resulta que las



Figura 6
Fachada principal

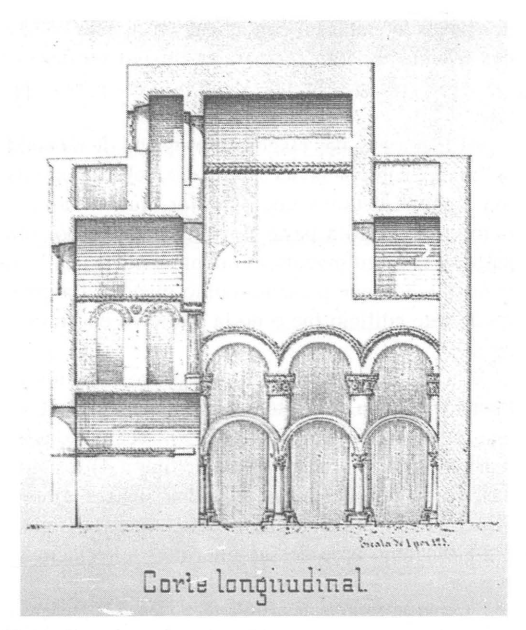


Figura 7
Sección longitudinal

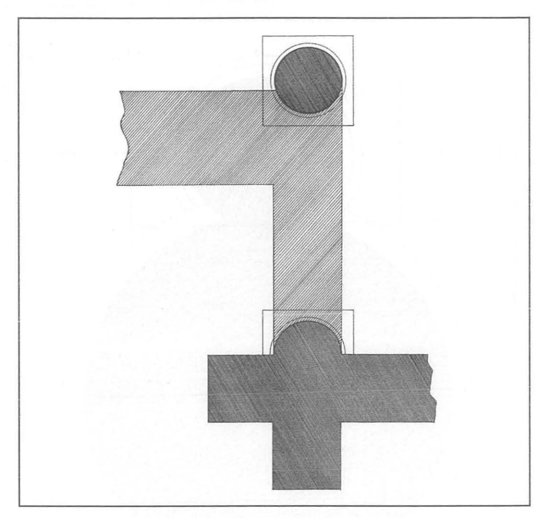


Figura 9
Detalle en planta

tentes que yo en la materia resolvieran este problema arqueológico, hasta hoy tan complejo. (Javier Aguirre, 16 de junio de 1886).

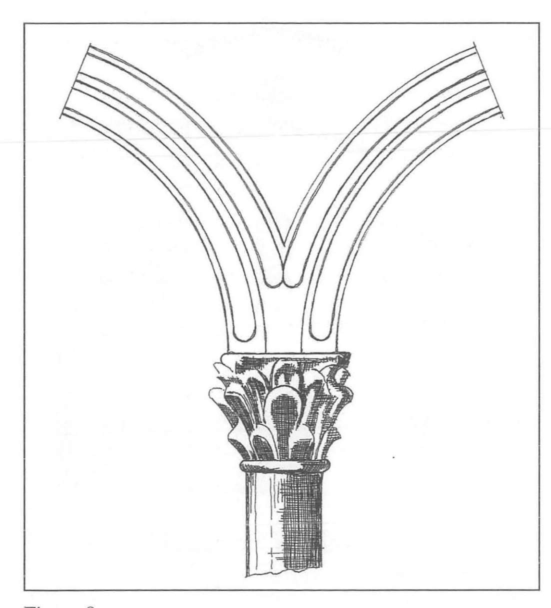


Figura 8
Detalle de la composición de arcadas interiores

FUENTES DOCUMENTALES

Aguirre, J.: *Proyecto de Restauración de la Iglesia de San Miguel de Lillo*. Oviedo, 16, de junio de 1886. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

Barral I Altet, X.: *La alta edad media. De la antigüedad tardía al año mil*. Ed. Tashen. Colonia, 1998.
Caamaño Martínez, J. M.: *Arquitectura prerrománica*. Ed. Planeta. Barcelona, 1985.
Fontaine, J.: *El prerrománico*. Ed. Encuentro. Madrid, 1982.
González-Varas Ibáñez, I.: *Restauración monumental en España durante el siglo XIX*. Ed. Ámbito. Valladolid, 1996.
Ordieres Díez, I.: *Historia de la restauración monumental en España (1835-1936)*. Ed. Ministerio de Cultura. Madrid, 1995.

Configuración constructiva de las bóvedas «convexas» de la iglesia de la Colonia Güell, obra de Antonio Gaudí

José Luis González Moreno-Navarro

La propuesta contenida en la ponencia sobre la Casa de los Botines de León presentada en el 1º Congreso de Historia de la Construcción,[1] afirmaba que la restauración de los edificios históricos es una ocasión irremplazable para aumentar el conocimento constructivo de ellos. La presente ponencia asume la citada propuesta y aporta las conclusiones sobre las bóvedas citadas en el título teniendo como base las investigaciones desarrolladas bajo la dirección y finanaciación del SPAL,[2] con ocasión de los estudios necesarios para restaurar el edificio, operación que está en marcha en estos momentos.[3]

Estos estudios se iniciaron hace diez años y ya dieron lugar a diversas presentaciones públicas y artículos,[4] uno de ellos dedicado a las bóvedas objeto de esta ponencia.[5] En el se exponía que, a pesar que nada se podía afirmar todavía sobre su configuración constructiva (tabicada, de hormigón o de otro tipo) sus valores formales eran suficientes como para concluir que son un hito en la arquitectura abovedada. La definitiva resolución de la incógnita constructiva aumenta ese valor. Se prometió que cuando hubiera datos concluyentes se daría cuenta de ello. Ninguna ocasión mejor para hacerlo que el presente Congreso.

La primera parte de este texto retoma datos ya contenidos en la citada ponencia con tal de poder ofrecer al lector la información imprescindible para la comprensión de las aportaciones prropias de esta ponencia.

La inacabada iglesia de la Colonia Güell

El Conde de Güell encargó a Antoni Gaudí en 1898 la realización de la iglesia de la colonia textil situada en Santa Coloma de Cervelló, cerca de Barcelona. Las obras dieron comienzo en 1908 y se suspendieron en 1914 dejando sólo construida la Iglesia baja y el pórtico de acceso a la Iglesia alta.

El método que Gaudí utilizó para imaginar la doble iglesia, la maqueta de hilos colgantes, está basado en las propiedades de los polígonos funiculares y les confiere una gran singularidad en el panorama de la historia de la arquitectura. La utilización de las líneas funiculares como sistema de determinación de formas intrínsecamente estables ya era conocido desde épocas anteriores. Sin embargo, ningún edificio relevante había sido generado siguiendo ese principio y menos todavía como conjunto de líneas funiculares trenzado en tres dimensiones. Pero para Gaudí la maqueta no pasa de ser un mero instrumento, ya que «pretender que las funículas den las formas de la Arquitectura es pueril, porque constituyen sólo un método de verificación o de comprobar la estabilidad (...) antes de la estabilidad hay otras cosas a satisfacer, capacidad, iluminación, relación ordenada de los servicios, etc...» y, aunque no lo explicite, después de la estabilidad, una decidida plasticidad extraordinariamente expresiva.

Esto último se comprueba fácilmente con la comparación entre la maqueta funicular y la realidad construida (figuras 1 y 2). Si singular es el método de

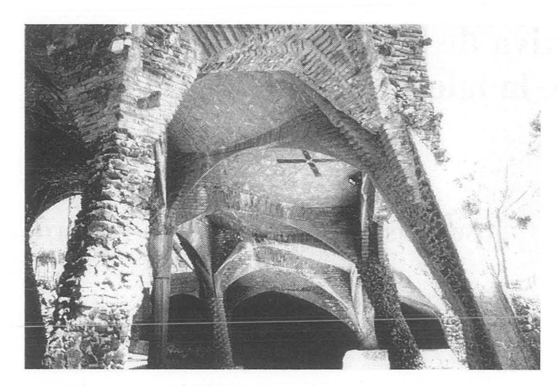


Figura 1

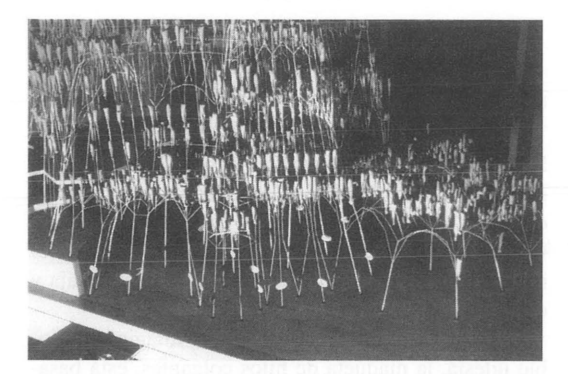


Figura 2

suficiente la observación de las fotos de la maqueta o las que Gaudí repintó para darnos una idea de lo que pudo haber sido la iglesia acabada?. Es razonable negarlo ya que la creatividad de Gaudí en la fase de proyecto sólo estaba latente y cuando se concretaba con toda su intensidad era en la fase de la construcción. El análisis de la obra realizada puede corroborarlo.

La obra se suspendió cuando los muros de la iglesia se elevaban unos dos metros por encima del nivel de lo que debería haber sido el pavimento.

Lastimosamente, la maqueta todavía conservada y gran cantidad de documentos sobre su materialización desaparecieron en 1936, pero gracias a la entusiasta iniciativa de un grupo de holandeses y alemanes admiradores de lo gaudiniano, en 1983 se finalizó la ingente tarea de reconstruir el modelo colgante (figura 2), el cual, junto con la publicación que relata detalladamente el proceso, es una aportación inestimable para una mayor comprensión de lo pudo ser y no fue. Sus interpretaciones a partir de nuevas fotos sobre el modelo de hilos nos ayudan a concretar las ideas que Gaudí pudo haber dibujado sobre otras fotos quizá desaparecidas. Pero su mayor interés reside en que permite comparar con mucho más detalle del que nos permitían las fotos originales de Gaudí la realidad construida y la maqueta y así conocer mejor el inmenso salto creativo que va desde el hilo al pilar o arco, o desde la trama de hilos a las fachadas o las bóvedas.

definición básica de las formas estables, mucho más lo es el acto creativo con el que se pasa de la escueta definición funicular a la extraordinaria plasticidad de los arcos, las columnas, los pilares y los muros. Pero, tal como se comprueba líneas más adelante, es en las bóvedas construidas del pórtico donde, precisamente por no estar claramente definidas en la maqueta funicular, se puede encontrar con mayor fuerza la prodigiosa manera de hacer del arquitecto catalán: la funcionalidad, la constructibilidad, la estabilidad y la plasticidad se conjugan en una unidad indisociable que se alcanza por medio de una extraordinaria sensibilidad guiada por un profundo y experimentado conocimiento.

Un desarrollo semejante aplicado a las bóvedas de la iglesia inacabada habría conseguido, sin duda, un hito inigualable más importante que el de la Sagrada Familia. Y aquí se encuentra una cuestión clave: ¿es

El porche de acceso a la iglesia baja

Sobre este extraordinario porche (figura 2), única parte realmente terminada de toda la obra, se han dado ya gran cantidad de argumentos que no repetiremos en este escrito orientado hacia el estudio de las bóvedas. Y es precisamente desde este punto de vista cuando se puede decir que, sin duda, y a pesar de sus reducidas dimensiones, el pórtico soporte de la escalinata de acceso a la iglesia es un hito real en la particular historia de la arquitectura abovedada. Las razones son variadas. La más importante, la de ser la primera vez en la historia que se construyen bóvedas con «intradoses convexos» en lugar de los cóncavos, cilíndricos o esféricos con los que se ha construido la totalidad de las bóvedas anteriormente. Otra razón, no menos importante, es que todo ello se hace, como ya se ha indicado líneas más arriba, de una manera

en la que la funcionalidad, la constructibilidad, la estabilidad y la plasticidad se conjugan en una unidad indisociable.

Los arcos

El pórtico también se configura mediante el sistema antifunicular por medio de arcos que descansan sobre pilares inclinados o sobre los muros de la iglesia o de contención de tierras.

Los arcos están dispuestos en planta según una malla triangular en dos zonas y formando figuras similares a trapezoides en una tercera, siguiendo lo definido por la maqueta funicular. Pero el análisis de su configuración constructiva permite observar la creatividad de Gaudí. En lugar de adoptar el perfil parabólico a la manera seguida en la capilla, se construyen mediante consolas-salmer de ladrillo con hiladas horizontales en saledizo sobre las que se asientan arcos rectos resueltos con un sardinel aparejado de dos roscas, con lo que la parábola se materializa en un trapecio (figura 3). La razón de haberlo hecho así no está explicitada en ninguna de las publicaciones que recogen las ideas de Gaudí.

Una vez construidas las bóvedas, los arcos fueron sometidos a un tratamiento de esculpido y revoco con el que, ahora sí, adquirieron su perfil general antifunicular pero con una riqueza formal y decorativa extraordinaria mucho más allá de una simple línea curva. Es razonable hipotetizar un simple alarde demostrativo de Gaudí sobre la puerilidad de considerar la maqueta como determinante de las formas.

Veámos ya las bóvedas *«convexas»*.

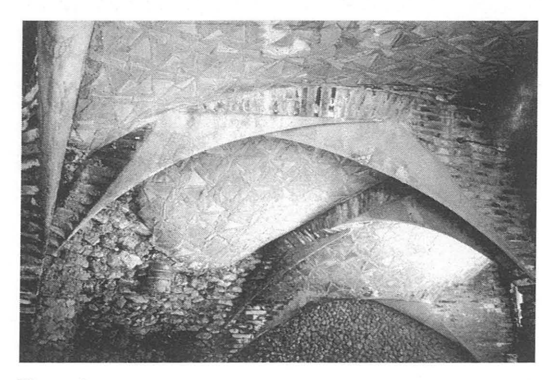


Figura 3

Las bóvedas

La estructura de arcos en malla triangular, organizada para dar soporte a las superficies de acceso de los fieles a la iglesia superior, obviamente, está incompleta si no se macizan los triángulos que quedan vacíos. Las bóvedas responden a esta necesidad. La pregunta nos la podemos hacer nosotros de manera parecida a como se la pudo hacer Gaudí: qué tipo de bóveda se adapta a un triángulo de lados coplanares. La primera respuesta se puede encontrar en los papeles de seda que se añadieron a la maqueta para darle corporeidad: unas bóvedas de doble curvatura, baídas o de traslación, comunes en la manera de hacer de los constructores catalanes de la época. Pero, por la razón que fuere, aunque fácil de suponer cuando se imagina los huecos cóncavos entre los arcos triangulados, Gaudí escogió otra solución totalmente nueva en la historia de la arquitectura abovedada: el paraboloide hiperbólico. Las razones por las que lo hizo no se han documentado, aunque Gaudí ya había dado muestras de conocer y utilizar las notables propiedades formales, mecánicas y constructivas de las superficies regladas en otros edificios, incluidas las fachadas de la propia Cripta aunque sin el protagonismo del pórtico. Sus opiniones sobre ellas están recogidas por sus discípulos, y algunas de ellas están más cercanas a la mística que a la arquitectura.

Si de rellenar un espacio triangular más o menos plano se trata y se busca una forma novedosa pero construible, el paraboloide presenta notables ventajas. Es preciso recordar que se puyede generar a partir de un tetraedro, haciendo resbalar una línea recta, la generatriz, por dos de las aristas opuestas del tetraedro que actúan de directrices. La adaptación formal de la mitad del paraboloide es perfecta ya que en planta es un triángulo y las intersecciones con dos de los lados son rectas.

El comportamiento mecánico es inmejorable por ser una bóveda de doble curvatura y porque además siempre contiene en el intradós, además de una parábola convexa que la da su aspecto «panzudo», una parábola cóncava que es la encargada de transmitir las cargas a las líneas de apoyo, ya que el paraboloide también se puede generar mediante una parábola con la concavidad hacia abajo que resbala sobre otra con la concavidad hacia arriba .

Pero el tercer lado es una parábola convexa de gran flecha. Este rasgo morfológico comporta que sólo sea una solución útil cuando el tercer lado es

uno de los muros de contención como ocurre en cinco de las bóvedas del nivel inferior (figuras 4 y 3).

Para las otras dos bóvedas de este nivel y para las del tramo en desnivel es preciso buscar otra solución y Gaudí también la encuentra en el paraboloide que se obtiene con la intersección de un prisma triangular, los lados de los arcos, con la parte central del tetraedro antes citado (figura 5). Las líneas de intersección pasan a ser tres parábolas, dos convexas y una cóncava, mucho más rebajadas y que se alojan fácilmente sobre las superficies laterales de los arcos de apoyo. Las cualidades formales y mecánicas se mantienen, pero la constructibilidad se complica extraordinariamente. Sin embargo, ahí están aunque nadie haya explicado cómo se hicieron.

El tercer tipo de bóveda de contorno trapezoidal no añade nuevas dificultades ya que se genera por la intersección de ese polígono con el paraboloide dando lugar a cuatro parábolas rebajadas, dos cóncavas y dos convexas.

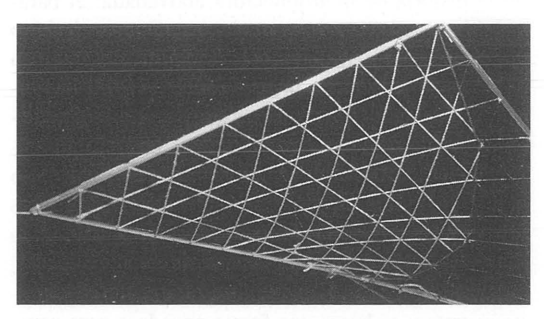


Figura 4

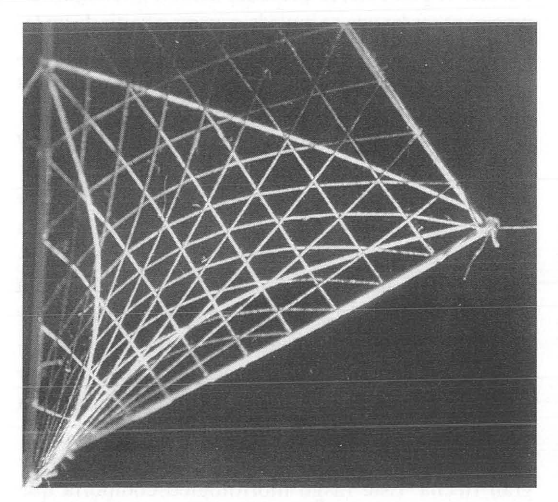


Figura 5

Para completar la descripción de todas las bóvedas falta la cuarta característica indisolublemente asociada a las tres anteriores: funcionalidad, estabilidad y constructibilidad, es decir, la plasticidad. La maestría y la calidad de auténtico arquitecto integrador de Gaudí se acaba de admirar cuando se comprueba que toda su propuesta plástica para las bóvedas está basada en las mismas propiedades ya citadas del paraboloide que de esta manera queda remarcada su presencia. La superficie de las bóvedas están acabadas con compleja textura obtenida a partir de un revoco grueso de mortero sobre el que se embuten retales triangulares de rasilla. En el centro, en la mayoria de los casos, o a un lado en lo menos, la decoración se completa con un tema muy querido por Gaudí: la cruz. Pues bien, todos estos motivos decorativos están regidos por las propiedades regladas de los paraboloides.

Los dos brazos de la cruz son dos tramos de dos generatrices, y toda la malla que organiza la textura descrita anteriormente se basa en las generatrices y en parábolas a ellas asociadas. Su estudio nos permite descubrir nuevos datos.

Las bóvedas que se obtienen a partir de medio tetraedro tienen sus generatrices formando una malla de rectas que se cruzan formando ángulos de 60º y 120º. Las parábolas de la trama, en este caso convexas, son las que se obtienen con intersecciones de planos que acaban de completar la malla triangular formando así una textura de triángulos equiláteros (figura 6).

En las otras bóvedas, las obtenidas del centro del tetraedro descubrimos un nuevo tipo. La mayoría sigue la ley generadora anterior con la salvedad que las

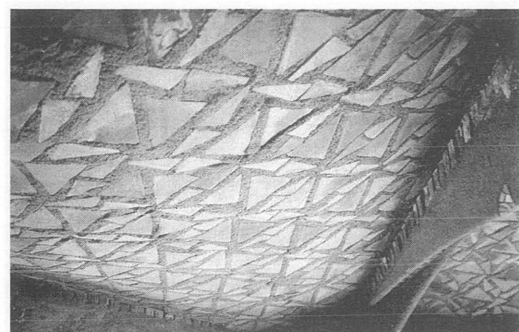


Figura 6

parábolas de la malla son cóncavas. El nuevo tipo es el que cuyas generatrices se cortan a 90º. El dibujo pasa a ser otro muy distinto y añade todavía más riqueza a todo el conjunto.

Como los albañiles dirigidos por Gaudí pudieron realizar toda esta extraordianria textura decorativa es bastante más difícil de imaginar que incluso la realización de las bóvedas soporte.

La construcción de las bóvedas

De las cuatro características relevantes ya citadas: funcionalidad, estabilidad plasticidad y constructibilidad, falta dar solución a la cuarta: no que sea construible o no, porque obviamente ahí están, sino a como fueron construidas y, en consecuencia, cuál es su configuración constructiva actual.

Dado que no se conocen documentos directos, gráficos o escritos, de cómo se realizaron, a lo largo de estos años de estudio han aparecido varias hipótesis explicativas, ya que con todos los colegas que visitaban la Cripta, se discutía cual había podido ser el procedimiento. Las dos con mayor número de defensores eran el de la bóveda tabicada y el de la bóveda prefabricada.

Sobre la primera, es bueno recordar las extraordinarias posibilidades morfológicas de su técnica.[6] Es fácil imaginar un albañil, desde luego experimentado colocando una primera hilada de rasillas apoyada en la recta intersección de la bóveda con uno de los arcos, y tocando en su otro extremo el tendel, dispuesto según la generatriz, girado en el espacio en relación con la primera directriz, conformando ya así la superficie alabeada. Es fácil imaginar pero especialmente muy difícil de realizar, especialmente la colocación exacta de los tendeles. La opción sobre la prefabricación se basaba en facilidad de realizar un molde dispuesto sobre el suelo; pero difícilmente podía explicar el izado de la bóveda realizada a su lugar definitivo.

La única referencia escrita que existe es la que se contiene en el libro de Isidre Puig Boada y se atribuye a un testimonio verbal de J. Matamala escultor que trabajó directamente con Gaudí. Según él, la bóveda había sido hecha con hormigón y Gaudí, en un alarde típico en muchos arquitectos en la historia de la construcción, ante el miedo de sus operarios a la hora de retirar el encofrado y su apuntalamiento, se puso debajo de la bóveda para tranquilizar a sus operarios en esta operación. Esta tercera hipótesis, la más verosímil, dada esa referencia directa por un colaborador de Gaudí, era también realmente difícilmente explicable sobre todo cuando además era necesario explicar simultáneamente la extraordinaria decoración de la superficie alabeada.

Pues bien, gracias a las pequeñas catas que se han podido realizar por motivo del inicio de los trabajos de restauración del edificio, finalmente podemos pasar de las hipótesis a las tesis defendibles, parciales a pesar de todo, que nos pueden informar sobre su configuración constructiva, cuando menos.

El desperfecto que creó una salida de humos de una cocina militar de campaña situada bajo las bóvedas con ocasión de nuestra Guerra Civil, ha permitido realizar una cata de la sección de la bóveda. En ella se puede observar, de arriba hacia abajo, un conglomerado con estructura difícilmente reconocible, en el que se mezclan piedras, ladrillos y mortero, una capa de rasillas y después, el grueso del revoco visible desde abajo. El repicado de la parte de éste que también estaba en mal estado, ha permitido ver que esta primera capa de rasillas inferior corresponde claramente a una disposición muy regular.

Hechas estas catas se hace participar en las observaciones al grupo de investigación de la Universidad de Barcelona sobre la configuración petrográfica de los materiales; sus conclusiones han sido claras. El revoco inferior de las rasillas se compone de tres capas: en la segunda se embuten los retales de rasilla, y la tercera, sólo perceptible con las técnicas microscópicas, de cal, que es la que facilita la adherencia de la arena del acabado final de la superficie sobre el revestimiento.

Una explicación razonable de esta disposición puede ser la siguiente: la primera capa puede considerarse como un enfoscado que regulariza la superficie de rasillas; la segunda es la que, una vez dispuesta sobre la anterior, permite embutir en ella las rasillas siguiendo las directrices y generatrices del parabolide; la tercera capa de cal es la definitiva que, lanzando la arena sobre ella en estado fresco, permite acabar definitivamente la superficie con una textura que impide advertir por completo ese proceso de ejecución. En consecuencia, la capa de rasillas ya tien su configuración estática final cuando se realiza el revoco. Pero, ¿cómo se hizo la capa de rasillas, y lo que sobre ella hay? y ¿quien actúa como elemento portante?. Veamos si es posible formular una nueva hipótesis.

Una explicación puede venir de la comparación de las catas realizadas con las figuras con las que

Choisy explicaba la construcción de lo que, en principio, se ha considerado siempre como un antecedente de las bóvedas tabicadas catalanas: las bóvedas delgadas que actuaban como encofrado perdido de las auténticas bóvedas que eran de hormigón romano (figura 7) Pues bien, la tesis que se defiende aquí es que en el pórtico de la Iglesia Baja de la Colonia Güell nos encontramos con unas bóvedas construidas a la manera romana.

Sobre si Gaudí conocía este libro parece que no es lógico dudarlo. Sobre la aplicabilidad del sistema, las fotos permiten advertir que es el más razonable.

Mediante la colocación de unos tablones, que son

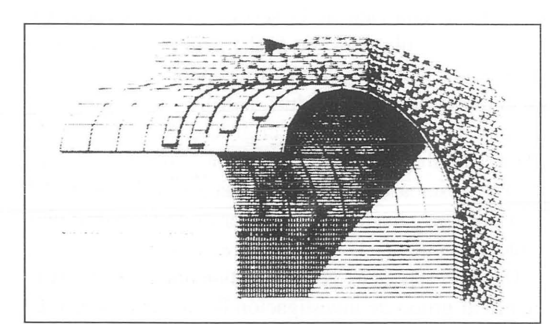


Figura 7

el haz de directrices, apoyados, no sabemos exactamente cómo, sobre dos generatrices se consigue perfectamente una base para el paraboloide. Sobre estos se sitúan las rasillas que actúan como encofrado perdido y sobre ellas se sitúa definitivamente el hormigón que dada la configuración morfológica antedicha, trasmitirá su peso y las sobrecargas de uso, mediante la sección abovedada cóncava, sobre los bordes apoyados en los arcos (figura 8).

No parece lógica la hipótesis que basaba la ejecución en un encofrado al estilo de los de Candela para hacer los paraboloides de hormigón. Si Gaudí disponía de operarios que ya habían sido capaces de realizar buena parte de la Iglesia y todas las columnas del porche, lo lógico era aprovechar su extraordinaria habilidad para con el mínimo de elementos ajenos al oficio de albañil se resolvieran definitivamente todas estas bóvedas. Es posible incluso pensar que no apareciera ningún elemento de madera y todo se hiciera sobre tabiquillos o de cualquier obra del albañil, pero no tenemos ningún dato que nos lo confirme. Parece lógico

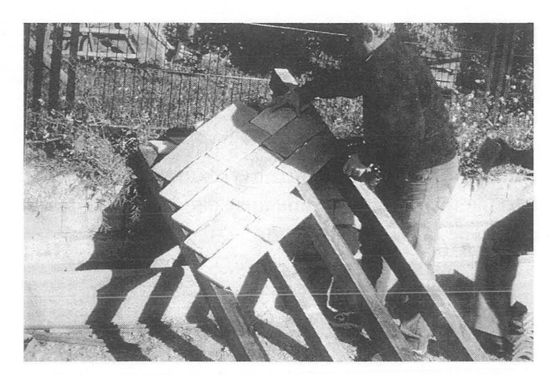


Figura 8

considerar como la más apropiada la utilización de tablones y cabios de madera como soporte del encofrado perdido hecho de rasilla que recibe definitivamente un hormigón que, desde este punto de vista, podríamos considerar romano, aunque su configuración es de cemento portland como era lógico ya en esta obra.

NOTAS

* El equipo de trabajo que ha realizado este estudio está formado, además de por el titular de la ponencia, por los siguientes profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña: Albert Casals, Dr. Arquitecto; Alejandro Falcones, Arquitecto, y Justo Hernanz. Arquitecto técnico.

1. Casals, A., González, J.L.: *Nuevos datos sobre la construcción de Antoni Gaudí: la sorprendente estructura constructiva de la Casa Botines de León*, en «Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción», Madrid, 1996.
2. Servei de Patrimoni Arquitectònic Local de la Diputació de Barcelona.
3. González, J.L., González, A., Casals, A.: «De cómo acabar la iglesia de la Colònia Güell, obra de Antoni Gaudí», Revista *Loggia*.
4. González, J.L., Casals, A., Roca, P.: *La comprensión de la realidad del monumento: el caso de la Cripta de la Colonia Güell*, en «Informes de la Construcción», nº 427, 1993.
5. González, J.L.: «Las bóvedas convexas de la Cripta de la Colonia Güell», en *Apuntes del Curso sobre Las Grandes Bóvedas Hispanas*, Colegio de Aparejadores y A.T. de Madrid y CEHOPU, Madrid, 1998.
6. González, J.L.: «La bóveda tabicada. Su historia. Su futuro», en *Tratado de Rehabilitación*, Tomo 1, *Teoría e Historia de la Restauración*, Madrid, 1999.

Configuración constructiva y comportamiento mecánico de las bóvedas tabicadas. Estudio de dos edificios abovedados del siglo XIX en el Baix Llobregat (Barcelona)

José Luis González Moreno-Navarro

Siguiendo la propuesta contenida en la ponencia sobre La Casa Botines de León presentada en el Primer Congreso de Historia de la Construcción,[1] la restauración de edificios es una ocasión irremplazable para aumentar el conocimiento de nuestros edificios históricos. La presente ponencia aporta las conclusiones sobre lo indicado en el título teniendo como base las investigaciones desarrolladas bajo la dirección y financiación del SPAL[2] con ocasión de los estudios necesarios para restaurar el edificio.

En la reutilización de un edificio histórico, la bóveda tabicada presenta un grave inconveniente si se desea conservar: no existen modelos de cálculo para determinar su capacidad portante. Son muchos los casos en los que, por esa razón, se han destruido o perdido la autenticidad de su comportamiento mecánico. El camino es conocer mejor el comportamiento y dar publicidad a su rica historia con tal de incrementar su aprecio.[3] Esto es lo que se ha intentado con ocasión de los estudios realizados sobre las bóvedas. Se ha partido, como premisa, de que las bóvedas se han de conservar actuando como tales. El modelo de cálculo se ha suplido con el procedimiento más eficaz, la prueba de carga y el resultado no ha podido ser mejor: las bóvedas (con tres modos de estructura constructiva, alguno contradictorio) aguantan sobradamente.

Dos de las bóvedas se encuentran en la masía denominada Can'Arús de Hospitalet de Llobregat, y la tercera se encontraba en el Palacete denominado Can Mercader de Cornellà de Llobregat.

Ca n'Arús es una masía que responde al tipo básico de esta construcción rural catalana y se organiza mediante tres crujías principales perpendiculares a la fachada principal y dos añadidas (figuras 1 y 2). La

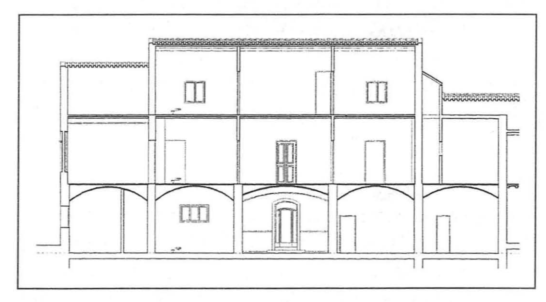


Figura 1

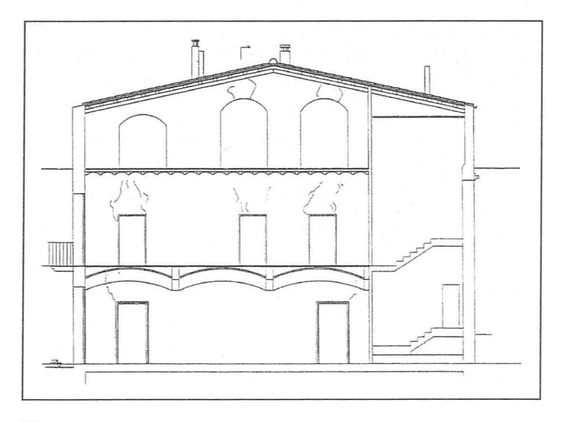


Figura 2

crujía central en el esquema tipo corresponde al acceso al edificio en el plan terreno, y en su planta piso al salón principal. En nuestro caso, la separación de ambos espacios está resuelta de una forma poco común, mediante tres bóvedas de pañuelo (o de bohemia) apoyadas en los cuatro muros perimetrales y en dos arcos rebajados a modo de arcos fajones que dividen virtualmente el espacio en tres zonas.

Las crujías laterales, las que se sitúan o bien dormitorios en la planta superior, o bien despachos en la inferior, resuelven la separación de las plantas mediante la solución más habitual en las masías, la bóveda de cañón rebajada.

El estudio del edificio surge como consecuencia de la voluntad por parte de la autoridad municipal de reconvertirlo en edificio de uso público; en consecuencia, es imprescindible averiguar la capacidad portante de estas bóvedas que recibirán en la planta superior una sobrecarga normativa de 300 Kg/m^2.

El primer paso a desarrollar es averiguar la configuración interna de estas bóvedas. El estudio se hizo abriendo las catas correspondientes por la parte superior ya que los pavimentos eran perfectamente desmontables y reponibles. Su observación permitió llegar a concluir que las bóvedas de cañón que se sitúan en las crujías laterales estan resuletas mediante la técnica tabicada, con dos hojas de rasilla superpuestas sobre las cuales se sitúan tabiquillos transversales, denominados según la terminología histórica «lengüetas», sobre los cuales a su vez se sitúan en un segundo rango de bóvedas tabicadas de menor luz, perpendiculares. Los tabiquillos se detienen antes de llegar al espinazo de la bóveda principal y el relleno se hace con escombro hasta alcanzar el nivel definitivo del pavimento (figura 3).

El aspecto que presentaban las bóvedas resueltas mediante esta configuración era el normal, con unas fisuras que el análisis completo del edificio pudo atribuir sin lugar a dudas a fallos en la cimentación dado que el terreno de aluvión del Llobregat era de escasísima capacidad portante.

La bóveda de la crujía central es algo más compleja; las tres bóvedas de bohemia, también resueltas mediante el procedimiento tabicado, se apoyan en los muros perimetrales en los arcos centrales, también resueltos mediante el procedimiento tabicado. La configuración constructiva de los elementos que rellenan los senos y determinan el plano del solado, es muy diferente a la citada anteriormente. En la tradición constructiva catalana, las bóvedas de bohemia se resolvían habitualmente mediante la superposición de nuevas bóvedas tabicadas en las cuatro esquinas que a modo de pechinas cubrían el espacio profundo de los senos. En nuestro caso tenemos las bóvedas que se entregan a las cuatro esquinas del espacio general. Pero las que resuelven el volteo en la entrega con los dos arcos centrales, se unen formando una única pechina, no apoyándose en consecuencia en los arranques de las bóvedas que se apoyan en al arco rebajado (figura 4). El aspecto que presentaban estas bóvedas era bastante inquietante, ya que los dos arcos estaban claramente rotos en su clave (figura 5).

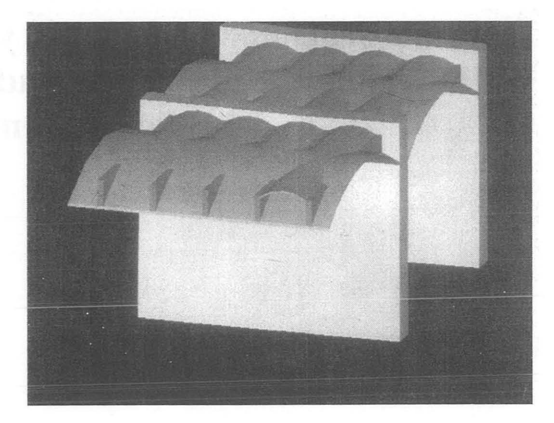


Figura 3

La interpretación que, en una primera aproximación, se dió fue la siguiente: el arco rebajado se descarga por completo en sus senos y sólo recibe cargas en su clave dado que su tangencia con el solado, in-

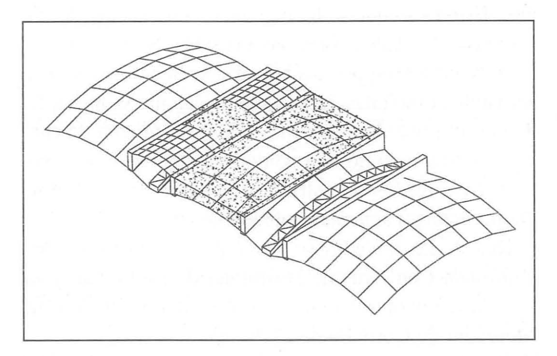


Figura 4

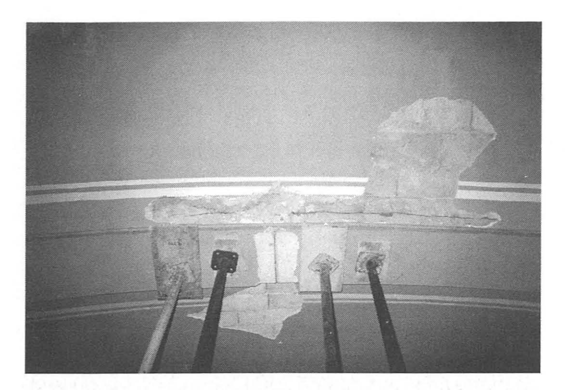


Figura 5

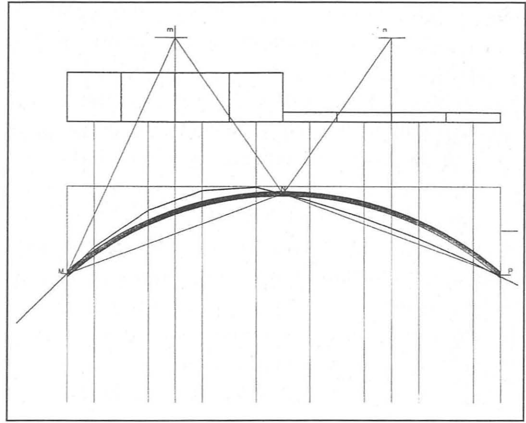


Figura 6

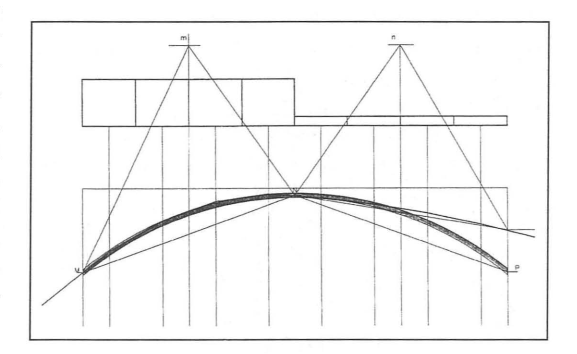


Figura 7

defectivamente, no tiene más remedio que romperse, dado el poco grueso en su parte central. Ahora bien, esas grietas que afectaban al arco, cuando se adentraban en las bóvedas desaparecían por completo. La interpretación no podía ser otra que las bóvedas en realidad no descargaban en estos arcos fajones sino que, las de los extremos cargan en sus tres entregas con los muros y la bóveda central carga en las dos paredes laterales, pero no en el arco. Éste, en consecuencia, queda sin ningún tipo de misión mecánica, más que aguantar las cargas que se producen por la circulación superior en su clave. Ese error del constructor llevó a esa rotura.

Una vez averiguada esta configuración constructiva, se pasó a hacer una aproximación a su comportamiento mecánico. El sistema utilizado en la bóveda de cañón podía seguir las teorías de Heyman y intentar buscar si la bóveda podía contener en su interior algún polígono funicular que asegurara su estabilidad.

La hipótesis de carga más desfavorable de una bóveda de cañón es sin duda la de una carga totalmente asimétrica. Los dibujos (figs. 6 y 7) corresponden a los posibles polígonos funiculares que dan respuesta a esta asimetría; como se ve, es totalmente imposible que, no solamente por su delgadez, sino por su trazado, la bóveda pueda incluir ninguno de ellos. De manera que, según esta teoría, está sometida a tracciones que evidentemente no puede soportar, con lo cual la hipótesis de cálculo es errónea, a no ser que consideremos que las lengüetas forman parte del conjunto.

Si consideramos el conjunto bóveda-lengüetas-bovedillas como una unidad estructural mecánicamente continua, el hecho de que el polígono funicular se encuentre entre las lengüetas, lo único a lo que las obliga es a asumir un esfuerzos axiles de compresión que, dado su grosor y su poca tendencia al pandeo por su pequeña longitud, son perfectamente asumibles. De manera que sólo puede considerarse que el sistema aguanta si las lengüetas forman esa unidad con la bóveda. Ahora bien, es prácticamente imposible averiguar si realmente es así.

Mayor dificultad presenta el aplicar la teoría de polígono funicular al sistema de tres bóvedas de bohemia. Las dificultades previsibles ya llevaron a no intentar su aplicación; pero, evidentemente, la diagnosis sobre el edificio exigía de una manera incuestionable el poder asegurar su capacidad portante.

La única solución, en consecuencia, fue hacer la prueba de carga. Esta se organizó mediante bidones

con los que se consiguió la carga de 400 Kg/m2 situada asimétricamente en relación al eje principal de la bóveda, tal como aparece en la figura (figura 8). Se cargaron la zona A, B y C, y se colocaron los flexímetros que analizaban la deformación de las paredes y de la propia bóveda en los puntos indicados. Sometidas a la prueba de cargas siguiendo las especificaciones de la norma UNE 7-457-86, las conclusiones fueron que los resultados obtenidos permiten validar el comportamiento de los tramos de bóveda ensayados para una sobrecarga de 400 Kg/m2. Las deformaciones máximas medidas en todos los casos han sido inferiores a 1,5 mm, las deformaciones horizontales de las paredes de carga han estado inferiores a 0,2 mm y la grieta del arco, instrumentada se ha movido menos de 0,07 mm. Durante los ensayos no se detectó ninguna aparición de nuevas fisuras.

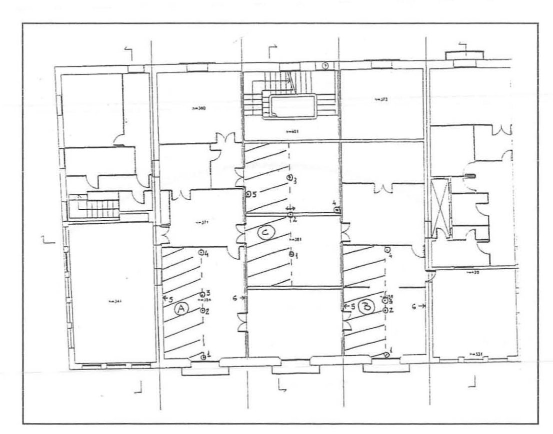


Figura 8

Queda claro en consecuencia que son bóvedas que como mínimo soportan la carga de uso público en la peor hipótesis de carga, con un incremento del 33% de su acción.

El tercer tipo de bóveda considerado, la de Can Mercader, responde a una situación de estudio y análisis diferente. Formaba parte de una escalera de servicio, que, en función del modo de actuar sobre el edificio para su reconversión en uso público, se decidió desmontarla, dada la necesidad de situar en el mismo hueco un sistema de ascensores y una escalera de trazado diferente.

Esta disposición indujo a aprovechar la ocasión de su desmontaje, para, mediante una prueba de carga, averiguar la carga real de rotura de una bóveda típica de escalera de la infinidad de ellas construidas en Catalunya. Se dispuso una prueba de carga mediante sacos de arena (figura 9) y un conjunto de flexímetros verticales y horizontales analizando la deformación del tramo cargado, del tramo inferior en el cual cargaba en su borde y las paredes que podían recibir algún empuje del conjunto.

La carga llegó a una cantidad total de 6000 Kg, que dividido entre los m2 que podían asumir la carga, daba una cantidad de 2500 Kg/m2. No se observó ninguna deformación apreciable ni en la bóveda cargada directamente ni en la bóveda que recibía la carga de la anterior. La prueba no llegó a la rotura porque los flexímetos que auscultaban la deformación de las paredes, sí que detectaron que éstas estaban sufriendo un movimiento debido al empuje de las bóvedas, que empezaba a sobrepasar valores recomendables.

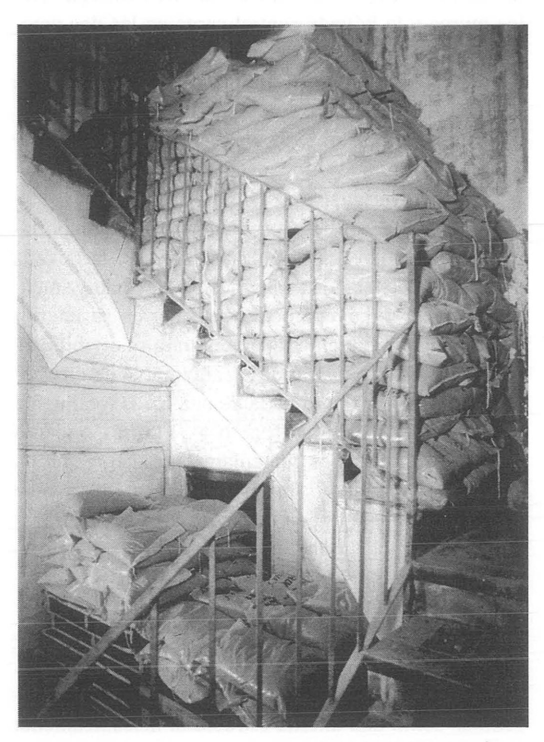


Figura 9

La conclusión no puede ser otra que las bóvedas tienen una capacidad portante que en realidad sólo viene limitada por la deformación de los muros en los que están apoyados, y que son siempre superiores a las cargas reales de servicio a las que están sometidas. Quede, en consecuencia, esta ponencia como una comprobación de la inutilidad de los muchos refuerzos que se hacen en bóvedas precisamente por el hecho de conocer su capacidad portante real. Sin duda, la prueba de carga controlada mediante flexímetros tanto en la bóveda como en los muros que reciben sus empujes, pasa a ser sin duda el método más eficaz para averiguar no sólo carga de rotura sino si realmente pueden asumir con suficiente margen de seguridad las cargas de un nuevo o un cambio de uso que les pueden afectar.

El objetivo final, que no es otro que el de facilitar la total conservación de estos bellos ejemplos de la historia de la construcción con toda su autenticidad, se verá así cada vez más cerca.

NOTAS

* El equipo de trabajo que ha realizado este estudio está formado, además de por el titular de la ponencia, por diversos profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña Albert Casals, Dr. Arquitecto; Alejandro Falcones, Arquitecto; y Justo Hernanz. Arquitecto técnico.

1. Casals, A., González, J. L.: «Nuevos datos sobre la construcción de Antoni Gaudí: la sorprendente estructura constructiva de la Casa Botines de León», en *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1996.
2. Servei de Patrimoni Arquitectònic Local de la Diputació de Barcelona.
3. González, J. L.: «La bóveda tabicada. Su historia. Su futuro», en *Tratado de Rehabilitación,* Tomo 1, *Teoría e Historia de la Restauración,* Madrid, 1999.

La organización constructiva del descenso de cargas del Palau Güell de Barcelona, obra de Antoni Gaudí

José Luis González Moreno-Navarro

La propuesta contenida en la ponencia sobre La Casa Botines de León presentada en el Primer Congreso de Historia de la Construcción,[1] afirmaba que la restauración de edificios es una ocasión irremplazable para aumentar el conocimiento de nuestros edificios históricos. La presente ponencia aporta las conclusiones sobre el descenso de cargas del Palau Güell teniendo como base las investigaciones desarrolladas bajo la dirección y financiación del SPAL[2] con ocasión de los estudios necesarios para restaurar el edificio. Sobre la estructura portante del Palau Güell ya se habían publicado algunos estudios parciales basados en trabajos similares. Sin embargo, algunas zonas quedaban sin definir en su configuración interna y, por otra parte, algunos de los diseños constructivos de Gaudí se podían interpretar como fruto de una cierta impericia suya. Los trabajos realizados recientemente[3,4] han permitido averiguar cómo están resueltas esas partes ocultas y comprender el porqué Gaudí adoptó soluciones, sin duda, extrañas e incluso extravagantes. La ponencia expone la configuración de esas partes ocultas y las razones que llevaron a Gaudí a modificar durante la obra la propuesta del proyecto que exigieron unas nuevas soluciones que demuestran la maestría e imaginación constructiva extraordinaria de Gaudí en su primer trabajo importante.

El proyecto del Palau Güell fue encargado por Eusebi Güell i Bacigalupi en 1885 a Antoni Gaudí cuando el arquitecto catalán sólo tenía 34 años.[5] Fue su primera obra importante ya que los edificios que ya había construido, algunos de ellos también para los Güell, si bien ya demostraban su fuerte personalidad, no tenían ni el volumen ni la importancia social de la nueva residencia.

Eusebio Güell formaba parte de la burguesía potente, culta y emprendedora de la Cataluña industrial de la segunda mitad del siglo XIX. Con el palacio Güell pretendía reafirmar su personalidad dentro del conjunto de la burguesía barcelonesa. Gaudí era seis años más joven, procedente de una familia de artesanos acomodados de la Cataluña rural, y estaba en los inicios de su carrera. Según Ràfols[6] presentó veinticinco propuestas de soluciones de la fachada y fue Güell el que, influido por ese afán de notoriedad, escogió la que, según parece, podría producir más impacto visual en aquel momento y que, con ciertas variaciones, fue la que finalmente se construyó.

La licencia de construcción fue concedida por el Ayuntamiento en noviembre de 1886 y el edificio se acabó a finales de 1890.

Sobre el valor del Palau (figura1) dentro de la cultura arquitectónica del momento, «conviene precisar el papel pionero de aquella primera arquitectura renovadora catalana. No sólo con relación al Modernismo local posterior sino con el conjunto de la arquitectura europea. Sirvan las fechas de las obras clave del Modernismo europeo: 1893, la casa de Paul Hankar en Bruselas; 1894 el Metro de Viena de Otto Wagner; 1896, la casa Elvira de August Endell, en Munich; 1898, la School of Art de Glasgow, de Mackintosh, y el palau de la Sezession de Viena, de Ol-

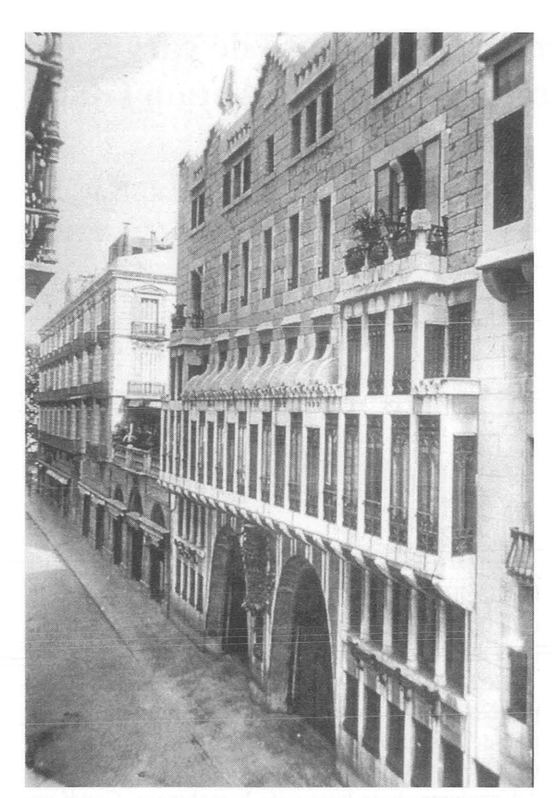


Figura 1
Fachada principal

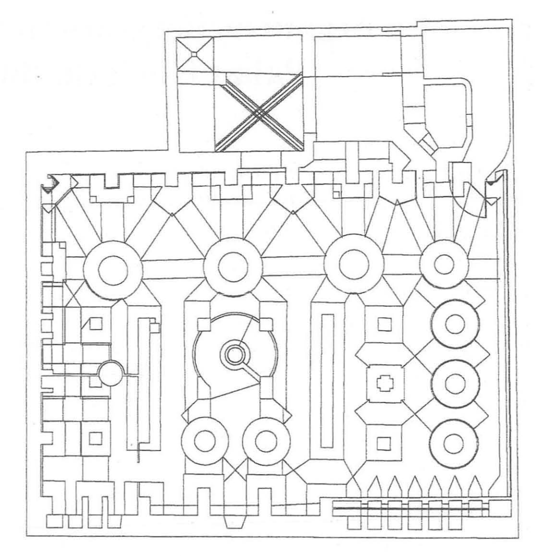


Figura 2
Planta sótano

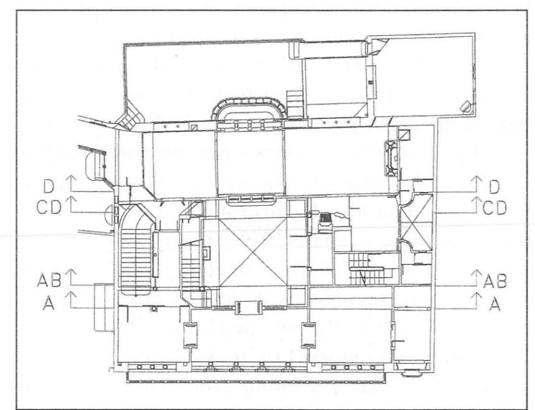


Figura 5
Planta noble

brich; 1900, el Metro de París de Guimard. Fechas como se puede comprobar muy posteriores a las primeras realizaciones de Gaudí. [...] en aquel momento, el Palau Güell, fue, sin duda, un hito en la arquitectura europea».[7]

Tal como puede observarse en las figuras (figuras 2, 3, 5, 6 y 7) el edificio consta de 7 plantas desde el sótano hasta el desván. El título de cada planta indica claramente los usos que les correspondían en su origen. «Las dependencias de este peculiar palacio urbano— edificado en un barrio que ya sufría una importante degradación social— se ordenan alrededor de un espacio central, dando en cierta manera la espalda a la calle (la gran tribuna, más que un mirador, es una ampliación del espacio interior) e incluso al patio interior de manzana, más degradado todavía que la calle (las celosías de la fachada posterior parecen protecciones de vistas no deseadas más que protecciones del sol). El gran espacio central de marcada directriz vertical (80 m^2 de planta por casi 20 m de altura) asume, pues, un singular protagonismo compositivo, las funciones del patio central de tradición mediterránea. Por otra parte, las secuencias espaciales y sensoriales que crea multiplican varias veces las reducidas dimensiones del edificio que ocupa un solar de poco de más de medio millar de metros cuadrados».[8]

La estructura portante, en sus aspectos esenciales, se compone de los muros perimetrales y de una com-

pleja combinación de pilares, arcos, bóvedas, jácenas y muros en el interior.[9] Las tres fachadas vistas son de piedra natural y la que cierra la medianería, de ladrillo. El interior es más complejo: las tres plantas inferiores (sótano, baja y entresuelo) se resuelven, principalmente, mediante pilares de ladrillo o de piedra y arcos y bóvedas de ladrillo o jácenas y vigas metálicas. Las plantas superiores se resuelven mediante muros de carga paralelos a la alineación a la calle, pero combinados con la estructura que da soporte al espacio central que arranca de la planta noble y se cierra con la cúpula en forma de paraboloide elíptico sobre el cual descansa la aguja (figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

Es una estructura que está directamente relacionada con los usos que se dan en los diferentes niveles: la planta baja ha de resolver el acceso de carruajes al edificio mediante dos espacios perpendiculares a fa-

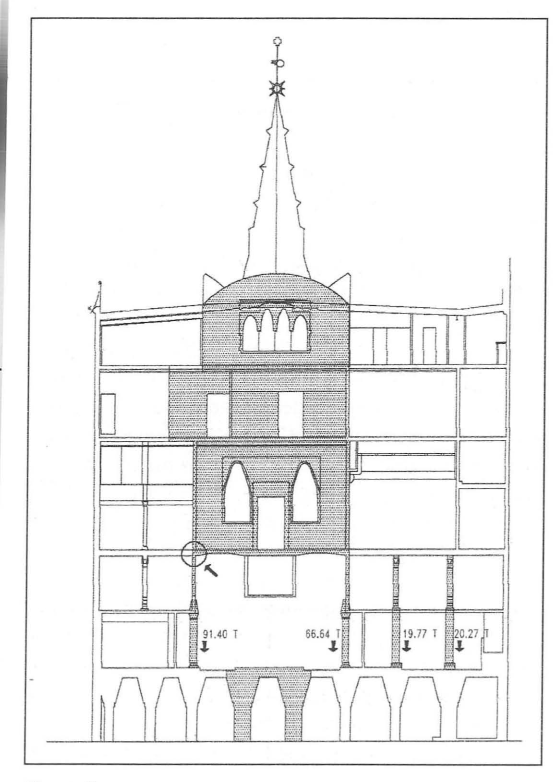


Figura 8
Sección AA. La zona marcada es la que ejerce las cargas indicadas.Véanse los dos pilares del sótano sin carga.

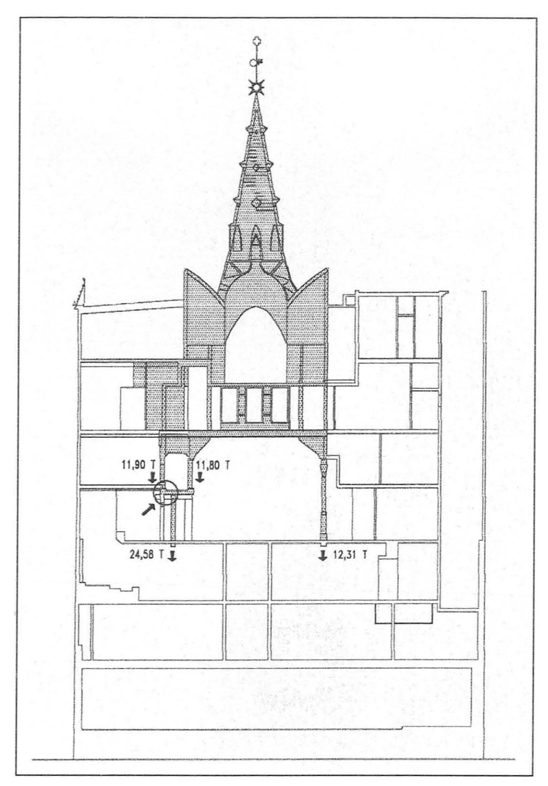


Figura 10
Sección CD-CD. En esta sección, la viga equivalente a la anterior, situada más arriba ya que la escalera discurre unos cuantos escalones por encima, se apoya en un pie derecho que a su vez se apoya en una viga perpendicular.

chada que se estructuran mediante pilares, y muros en la parte correspondiente al entresuelo. El resto de funciones desarrollados en estas dos plantas, cochera u oficinas, también se avienen con una estructura de pilares que flexibiliza el uso del espacio. La resolución de la planta sótano mediante los pilares de ladrillo y arcos y bóvedas es una consecuencia directa de la concepción de las dos plantas baja y entresuelo, que por supuesto no entra en conflicto con su uso como caballerizas.

Por el contrario, las tres plantas superiores, dedicadas a un uso doméstico, permiten la solución habitual de paredes de carga, que a su vez han de solucionar el soporte del potente espacio central. Sobre las paredes paralelas a la fachada principal (manera habitual de resolver la crujía de fachada en Barcelona) y las

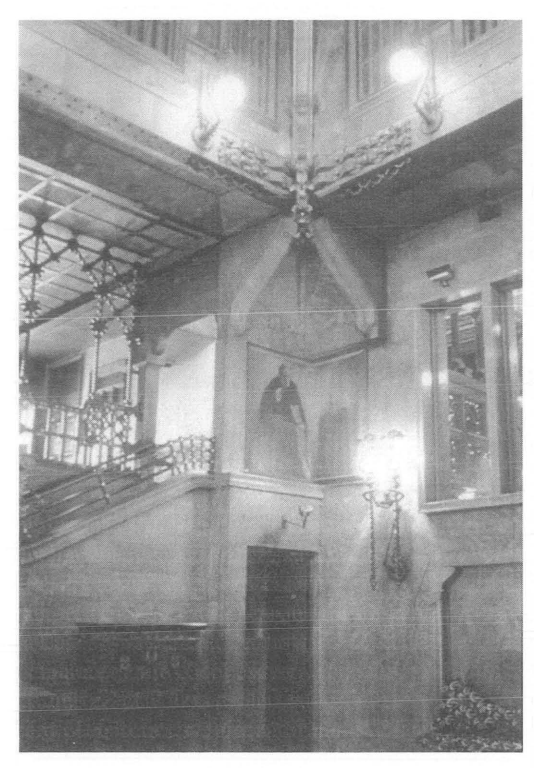


Figura 11
Imagen de la escalera en el lugar de la sección anterior

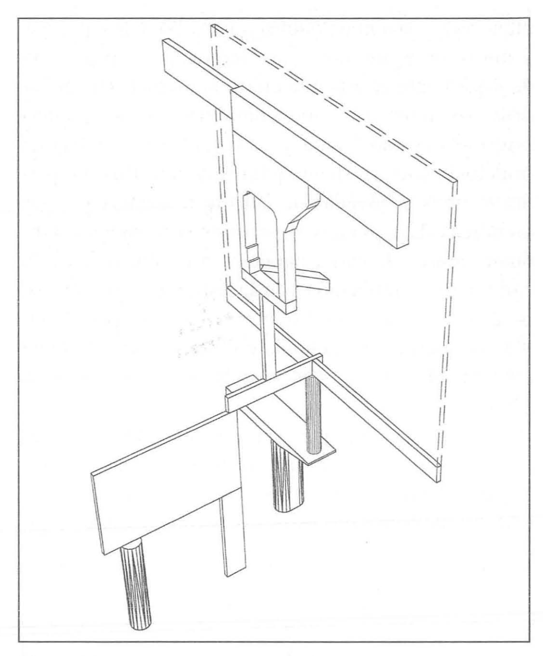


Figura 12
Composición de pilares, jácenas y paredes del conjunto anterior

paredes de traba, se organiza, mediante jácenas metálicas de gran canto, todo el sistema estructural de apoyo de la cúpula, cuyas dificultades de soporte se acentúan por el hecho de tener sus dimensiones menores que las de la gran sala. Esta disposición a su vez permite un pasillo alrededor de ese espacio que da acceso a las habitaciones, solución muy apreciada por Gaudí tal como se puede comprobar en la Casa de los Botines en León o en La Pedrera.

Se puede afirmar que, en sus aspectos más generales y conceptuales, la estructura del edificio está en clara relación de diálogo positivo con estas tres diferentes composiciones espaciales que son resultado, a su vez, de los diferentes usos que se dan en las distintas plantas y de intenciones arquitectónicas muy precisas.

Sin embargo, existe una opinión generalizada, basada en el análisis de varios episodios morfológicos y constructivos, que califica esa estructura de confusa, y para los cuales algunos autores han dado interpretaciones claramente erróneas sobre su significado.

Uno de esos episodios, quizá el más significativo, está presente en el salón principal. Según algún crítico de la obra gaudiniana, los ejes que se cruzan perpendicularmente en el centro del salón no ordenan las piezas que lo rodean, tanto su puerta principal como el alto ventanal que lo comunica con la sala familiar, están levemente desplazados con respecto a uno de esos ejes (figura14). Este desplazamiento sería imperceptible a la vista »pero se manifiesta con estridencia a causa, justamente, de la solución constructiva empleada por Gaudí para sostener la galería que rodea el salón a la altura del primer piso: unas ménsulas de gran tamaño cuya disposición regular contrasta con la irregularidad de los huecos inferiores de los que en ocasiones están muy alejadas mientras que en otras se superponen casi a ellos con exhibida violencia.»(figura 15).[10]

Otra de las peculiaridades destacadas por este mismo autor y por otros, es el hecho de que dos de los enormes, y sin duda desproporcionados, pilares del sótano, no tienen ningún soporte en la parte superior, es decir, no aguantan nada (figura 8). Para algunos

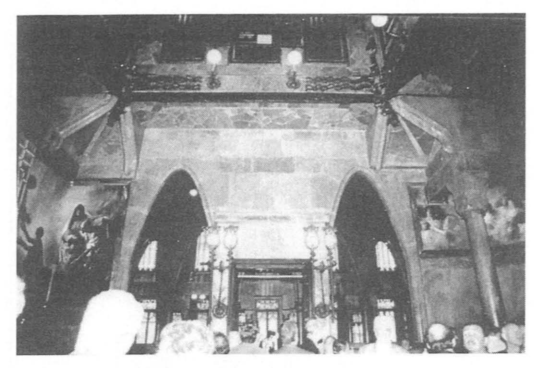


Figura 15
Imagen del desplazamiento resultante del anterior que afecta a los huecos del plano A-A y las ménsulas de la estructura definida por el Salón Principal

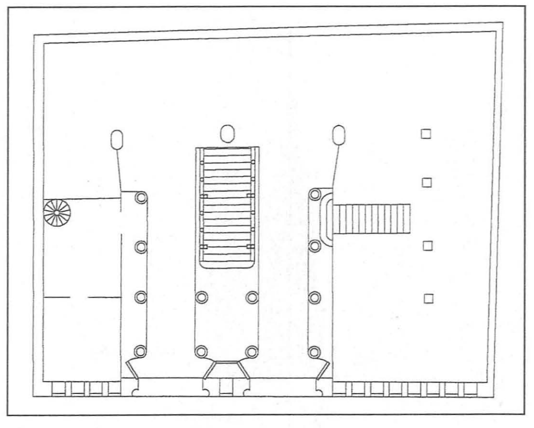


Figura 17
Planta baja. En la sección A-A se sitúan dos pilares no existentes hoy

autores eso supone que Gaudí «está dominado por una voluntad formalista encubierta por una apariencia tecnológica.[11]

O bien «esa agobiante presencia de los pilares y sobretodo su patente inutilidad, (...) están para mostrar la brutalidad de un lugar cuyos habitantes son justamente brutos. (...) El lugar que ocupan las bestias, los animales irracionales es también como ellos irracional o sea subterráneo, cueva, que en definitiva siguiendo una larga tradición simbólica, infierno. Infierno es ni más ni menos el sótano del Palau Güell».[12]

Pero un análisis detallado del descenso de cargas y especialmente su comparación con lo que, razonablemente, se puede desprender del estudio de los planos del proyecto inicial permiten dar un significado muchísimo más relacionado con la vida cotidiana sencilla de los protagonistas de los episodios.

No ha sido hasta 1974 cuando, gracias a una investigación desarrollada por la Cátedra Gaudí de esta Universidad Politécnica, se han encontrado en los archivos municipales de Barcelona los planos administrativos con los que Eusebio Güell solicitó la licencia municipal, planos desconocidos por completo hasta esa reciente fecha.[13] En las figuras aparecen reproducidos de manera simplificada (figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22).

Su carácter de planos estrictamente administrativos conlleva no incluir en ellos ningún tipo de detalle que no sea exclusivamente la definición formal volumétrico-espacial del edificio en aquellos aspectos en los que el ayuntamiento tiene autoridad. Sin embargo, aportan datos suficientes para poder deducir cuáles fueron las ideas con las que Gaudí organizó estructuralmente el edificio en su idea inicial.

Comparando estas figuras con las expuestas en el inicio de este escrito se advierten diferencias en el detalle pero una misma intención espacial, tanto en plantas bajas como en plantas altas y el espacio central. El detalle nos hace ver que algunas soluciones son diferentes —la planta entresuelo está exclusivamente resuelta mediante pilares, la planta noble tiene dos columnatas en sus lados— pero el resto, a grandes rasgos, coincide.

En la planta principal, es obvio que si se comparan las dos concepciones de la escalera, la del proyecto realizado permite un mucho mayor aprovechamiento del ya escaso solar o superficie edificada. La aparición de la sala intermedia en forma de balcón sobre el salón principal y la sala de estar de la planta de los dormitorios.

Pero precisamente las exigencias implacables del embate gravitatorio y de la solución del descenso de cargas, obligaron a Gaudí a situar ese tramo de escalera sobre una línea de carga ya existente y en consecuencia desplazar lo que sin duda era uno de los hitos del proyecto más significativos, la continuidad total del eje del subterráneo a la veleta y en consecuencia se tuvo que desplazar la estructura del espacio superior en relación con la organización de los huecos de la planta ya construida (figura 23).

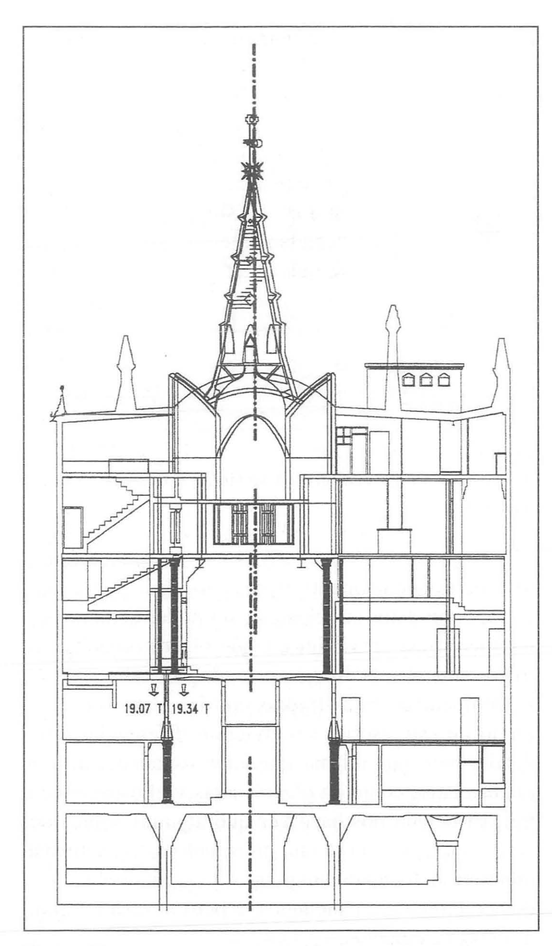


Figura 23
Desplazamiento de los ejes

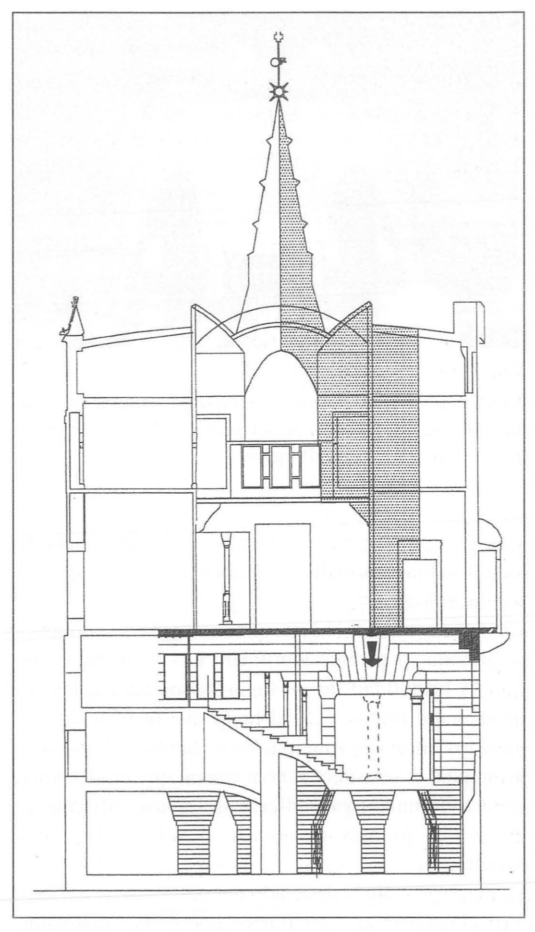


Figura 24
Sección por perpendicular a la fachada principal situada a la derecha. Se observa el arco de grandes dovelas que sustituye a los dos pilares. Se destaca la carga que afectaba al arco en el proyecto inicial si no se hubiera cambiado la distribución de cargas de las jácenas del salón principal

La razón de por qué aquellas dos columnas son inútiles (figura 8) no es otra que la de que sencillamente se suprimieron las columnas que aportaban como mínimo 30 toneladas a cada uno de ellos de una manera similar a la del resto. Las razones por las cuales se suprimieron estas dos columnas pueden desprenderse, como hipótesis incontrastables pero de una evidencia bastante clara, por el hecho que entorpecían el descenso de los carruajes (figura 22). Pero lo más interesante son los dos elementos con los que Gaudí los sustituye (figura 24). Todo ello nos muestra esa manera de proyectar en obra de Gaudí: un proyecto que evidentemente ya está totalmente estructurado en el ámbito general se adapta a esa situación en la que nada menos que dos columnas que participan claramente en su descenso de carga desaparecen, veamos cómo.

Es probable que los dos paramentos fueran macizos como los laterales y, para no perder esa masividad, Gaudí no hace más que descomponer un muro que se soporta en un arco plano embebido en ese muro que transmite fuerzas inclinadas que no tenía previstos. Para evitar que la componente horizontal

sea excesiva el diseño de las dovelas busca la mínima inclinación de la resultante. Pero en cualquier caso, para equilibrarlos es necesario añadir un tirante metálico que queda oculto. A pesar de todo, no se puede esperar a que éste entre en carga por efecto de la carga del edificio ya que esto podría producir desarreglos en los paramentos y se dispone un inusual arco plano de tres piezas, dos salmeres y una larguísima dovela central de manera que el peso de ésta tense al tirante.

Curiosamente, estos dos elementos tan sorprendentes no han sido objeto de análisis por ninguno de los críticos citados. Es obvio que nos encontramos ante una situación en la que Gaudí forja la solución no prevista en el proyecto. Sin duda el ingenio constructivo en íntima e indisoluble relación con su expresividad formal da lugar a ese arco tan sorprendente.

Pero, precisamente, esta nueva solución del arco del zaguán lleva a Gaudí a reconsiderar el sentido de las jácenas principales que soportan toda la cúpula, a las que gira 90º. El papel de soporte principal lo asumen las que en principio tenían un carácter secundario que pasan a necesitar un apoyo encima de esa nueva escalera; para lo cual no tiene más remedio que establecer unas soluciones estructurales en Y (figuras 9, 10, y 11) resueltas impecablemente durante la obra desde un punto de vista formal y estático y, quizá, en las partes más escondidas, sin mucha preocupación por su expresión final (figura 12). Lo cual llevó a esos especialistas en estructuras a calificar la estructura del Palau Güell como de «confusa», y se dudó que «esta estructura que hemos ido encontrando puede ser el esqueleto de una obra maestra de la arquitectura». Esta duda «podría ser un punto de partida para una cierta revisión de las valoraciones actuales del modernismo en general y de Gaudí en particular».[14]

Una vez más, el conocimiento de la realidad de la infinidad de decisiones tomadas en la obra permiten conocer esa manera particular de proyectar de Gaudí que lo cual permite seguir atribuyéndole sin duda el calificativo de maestro.

Es interesante para redondear esta afirmación dejar, aunque sean apuntadas, dos cuestiones que nos muestran a un Gaudí muy preocupado por la comodidad de sus clientes. En primer lugar destacar una cualidad constante en la obra de Gaudí, todavía no estudiada con detenimiento, que es su sistema extraordinariamente efectivo de ventilación, que da lugar a elementos tan extraordinariamente bellos como las chimeneas de la azotea.[15]

En segundo aspecto, sin ninguna repercusión de tipo formal, nos indica con mayor relevancia, por esa misma razón de no estar a la vista, ese Gaudí preocupado por las razones prácticas. El forjado que separa el techo de los dormitorios del suelo de la servidumbre, es un forjado absolutamente inusual en la construcción catalana pero que se ha comprobado experimentalmente que posee un grado de aislamiento acústico que le permitiría cumplir perfectamente normativas actuales;[16] sólo se entiende ese elemento a partir de esa voluntad racional de búsqueda de una arquitectura no sólo formalmente nueva sino nueva también en el cumplimiento de sus razones prácticas.

Obviamente, el análisis constructivo de estas obras no nos lleva a la total comprensión de todas las decisiones; nada más lejos que defender que la historia de la arquitectura es la historia de su construcción, como defendía Choissy[17] contemporáneo de Gaudí. Pero hay que insistir en que su no suficiencia no lleva en absoluto a su no necesariedad; en definitiva para interpretar una obra de arquitectura todo es necesario y nada por sí solo es suficiente.

Tampoco se trata de defender el que Gaudí estuviera exento de errores en sus proyectos o en sus realizaciones. Ya hemos dejado constancia por escrito y en multitud de conferencias lo equivocada que estuvo su concepción estructural del edificio de la Casa de los Botines de León.[1] O, por ejemplo, la comparación entre la Casa Milá[18] y la Iglesia de la Colonia Güell,[19] también pone de manifiesto maneras opuesta de enfrentarse a la relación entre arquitectura y descenso de cargas y que en la primera la experimentación de los nuevos materiales (suponiendo que el acero fuera nuevo ya en 1900), no estuvo exenta de contradicciones ya anunciadas por tratadistas como mínimo cien años antes[20] o por el mismo Viollet-le-Duc.[21] Frente a ello, el Palau Güell no deja de ser un ejemplo de una estructura en perfecta sintonía con el uso del espacio servido.

NOTAS

* El equipo de trabajo que ha realizado este estudio está formado, además de por el titular de la ponencia, por los siguientes profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña: Albert Casals, Dr. Arquitecto; Alejandro Falcones; Arquitecto y; Justo Hernanz. Arquitecto técnico.

1. Casals, A., González, J. L.: «Nuevos datos sobre la construcción de Antoni Gaudí: la sorprendente estructura constructiva de la Casa Botines de León», en *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1996.
2. Servei de Patrimoni Arquitectònic Local de la Diputació de Barcelona.
3. Los estudios estructurales han sido:

Enrique Nuere, *Los artesonados del Palau Güell 1º y 2º parte*, 1995-1997; González, J. L.: *Estudi detallat del descens de càrregues gravitatòries*, 1998(a) y *Comparació entre les estructures del projecte original i l'actual del Palau Güell*, 1998(b).

4. Se han realizado tres estudios sobre el comportamiento acústico de tres elementos del edificio: las concidiones de audición de la sala central y las del sótano, y el aislamiento acústico del forjado que separa la planta de dormitorios principal de la de servicio. Véase: Audioscan Enginyeria del So, *Estudi d'aïllament acústic del Palau Güell*, 1997.
5. Los dos documentos que aportan más información sobre el Palau son AA. VV., *El Palau Güell*, Diputació de Barcelona, Barcelona, 1990, y el número monográfico «Gaudí constructor» de la *Revista Informes de la Construcción,* nº 408, julio-agosto de 1990.
6. Ràfols, J. F.: *Antoni Gaudí*, Barcelona, 1928.
7. Antoni González, *El Palau Güell, fita de l'arquitectura europea*, en AA.VV.(1990) pp. 35-48.
8. González, A.; Carbó, P.: *La azotea fantástica (La cubierta del Palau Güell)* en *Revista Informes de la Construcción,* nº 408, pp. 31-41.
9. González, J. L. U*nderstanding historical structures: gaudí and the palau güell*, en P. Roca, J. L. González, E. Oñate, y P.B. Lourenço (Eds.), Structural Analysis Of Historical Constructions Ii, Cimne, Barcelona 1998.
10. Lahuerta, J. J.: *Antoni Gaudí, 1852-1926 : architettura, ideologia e politica,* Electa, Milano, 1992.
11. Margarit, J., y Buxadé, C.: *Otra visita al Palau Güell* en *Arquitecturas Bis* nº 45, diciembre 1983, pp. 27-31 y *La confusa complejidad estructural del Palau Güell*, en *Informes de la Construcción,* 408, 1990, pp. 23-29.
12. Lahuerta, J. J.: *op. cit.*
13. Bassegoda, J.: *Los planos del Palacio Güell, inéditos dibujos de Gaudí*, en Revista *Templo,* 1974.
14. Margarit, J., y Buxadé, C.: *op. cit.*
15. González, A., y Carbó, P.: *op. cit.*
16. Audioscan Enginyeria del So, *Estudi d'aïllament acústic del Palau Güell*, julio de 1997.
17. Choisy, A.: *Histoire de l'Architecture*, París, 1899.
18. AA. VV., *La Pedrera, arquitectura e historia*, Barcelona, 1999.
19. González, J. L.; Casals, A.; Roca, P.: *La comprensión de la realidad del monumento: el caso de la Cripta de la Colonia Güell*, en «Informes de la Construcción», nº 427, 1993.
20. Patte, P.: *Analyse raissonée de l'etat alarmant du dôme du Panthéon.* París, 1799. Véase González Moreno-Navarro, José Luis, *El legado oculto de Vitruvio*, Madrid, 1993.
21. Viollet-le-Duc: *Entretiens sur l'Architecture*, 2 vols., París 1863-1872 (Véase González Moreno-Navarro, J. L.: *ut supra*).

Aportaciones de Herodoto de Halicarnaso al conocimiento de la construcción en la Antigüedad

Amparo Graciani García

> Evitar que con el tiempo cayeran en el olvido las grandes y maravillosas hazañas realizadas tanto por los griegos como por los bárbaros.

La obra de Herodoto de Halicarnaso, que —carente de un título original— la historiografía ha venido a denominar *Los nueve Libros de la Historia*[1], o simplemente *Historias*[2] es uno de los textos más renombrados de la Antigüedad, siendo considerado una fuente de información imprescindible para el conocimiento de la Historia de este período. Todo ello, por incluir entre las copiosas noticias de sus viajes e «investigaciones» (como el autor las llama en el proemio del texto) innumerables datos, imparcialmente tratados, relativos a pueblos tan distantes como Egipto, Babilonia, Persia o la Magna Grecia, diseminados en un texto cuyo tema principal es el conflicto entre Grecia y Asia desde tiempos míticos hasta la derrota de Jerjes. Mucho se ha escrito sobre esta cuestión y sobre otros aspectos de la obra: su autoría, orígenes, datación, finalidad, estructura, fundamentos y características literarias, perduración y proyección social,.... Sin embargo, hasta la fecha se han eludido consideraciones de conjunto como las que se pretenden abarcar en estas páginas: qué aportaciones se pueden extraer de la obra relativas a los métodos y los materiales constructivos de los diferentes pueblos que el autor refiere en su obra y qué tipo de cuestiones fueron las que más le llamaron la atención; en qué medida tales referencias fueron fruto de la observación y de la contemplación directa o, por el contrario, se basaron en la tradición oral, para así poder determinar, como última cuestión, el grado de fiabilidad que sus comentarios ofrecen.

Esta comunicación se organizará en tres grandes bloques: en el primero, se recogerán las razones que otorgan la importancia a esta obra; en el segundo, se estudiará la estructura de los comentarios sobre construcción que Herodoto recoge, para dedicar el tercero y último a un comentario crítico de las referencias sobre cada cultura, analizando las razones de sus presencias y carencias.

Aportaciones de la obra. Generalidades

Durante siglos, las únicas referencias escritas directas de los métodos de construcción de la Antigüedad, han sido las incluidas por los viajeros clásicos en sus textos; así ha sido al menos hasta el siglo XIX con la aparición de los primeros viajeros decimonónicos y el inicio de los estudios sobre lenguas históricas, que posibilitaron el análisis de textos originales de cada una de las civilizaciones sobre diversos soportes. Entre ellos, los de Estrabón, Herodoto de Halicarnaso, Diodoro de Sicilia, Plinio el Viejo, Eratóstenes de Alejandría,...

Pero ¿qué es lo que hace tan especial el texto de Herodoto? El estudio detallado de *Los Nueve Libros de la Historia* de Herodoto de Halicarnaso, considerado en contraposición a los textos de otros viajeros peripagéticos de la Antigüedad, nos permite sinteti-

zar en cuatro las circunstancias que hacen particularmente interesante esta obra: la singularidad de los datos aportados, la universalidad de las referencias, la imparcialidad en el tratamiento de la información (que nos asegura la fiabilidad de la información transmitida) así como las escasas alteraciones realizadas a lo largo de la Historia sobre el texto original (que, en este caso, garantiza la fiabilidad de la información recibida).

La singularidad de los datos aportados

Una de las principales aportaciones de Herodoto es que algunas de las referencias que incorpora en su texto de procesos o procedimientos constructivos constituyen la única (o una de las escasas) fuente/s de información sobre tal cuestión, por lo que gracias a la alusión de Herodoto su recuerdo no ha quedado irremediablemente perdido. Muchos de los comentarios de Herodoto no tienen similar, resultando especialmente singulares los que se refieren a la construcción de las pirámides. En cierto modo, esta singularidad se pierde para la información que el autor ofrece sobre la etapa neobabilónica, ya que datos parecidos a los que Herodoto incluye, se recogen en obras de autores como Estrabón, Eratóstenes de Alejandría y, muy especialmente, Diodoro de Sicilia en su *Historia Natural* (libro III, 7.2-13), si bien todos ello posteriores en el tiempo y, a excepción de Diodoro de Sicilia, con una mayor carga de fantasía.

La universalidad de las referencias

En coherencia con el ambicioso plan de Herodoto de abarcar de forma imparcial referencias históricas de todos los pueblos conocidos en la época, de Europa, Asia y África, por pequeños que éstos fueran, las alusiones a la actividad constructiva de la época se refieren a zonas muy variopintas y distantes del Mediterráneo Occidental, incluso de puntos de Asia, África y España, donde Herodoto realizó sus incursiones. Asia Menor, de donde hoy se acepta que el autor era originario[3], Egipto, la Magna Grecia, Babilonia,... Pese a todo, la universalidad no llega a conseguirse; así, de Mesopotamia, a pesar de que el autor prometía hablar de otros *loggoi* (I, CVI)[4], como «los loggoi asirios» (I, CLXXXIV), entre ellos Nínive, se limita a analizar Babilonia, aunque llega a olvidar edificaciones hoy consideradas tan emblemáticas como los Jardines Colgantes que, situados al NE del Palacio Real fueron una de las Siete Maravillas de la Antigüedad y que por el contrario sí describiera Diodoro de Sicilia.

La imparcialidad en su tratamiento: la fiabilidad de la información transmitida

Aunque el deseo de Herodoto de plantear la información de una forma imparcial en cierta medida aseguraba la fiabilidad de la información, actualmente sólo se aceptan algunos de los datos aportados por el autor, siendo otros, por el contrario, totalmente desechados. De hecho, su credibilidad no es constante a lo largo de la obra sino que depende de otros factores como la fuente de información, o el carácter, descriptivo o cuantitativo, del dato aportado.

La información aportada por Herodoto combina dos fuentes de información: de un lado, la observación directa y la experiencia personal, y, de otro, la transmisión oral, si bien el cario no suele mencionar —por lo general— cuáles han sido sus fuentes de información cuando algo lo *contaba de oídas*; cuanto más, indica que procede de «autores griegos», sin indicación expresa de quiénes, por ejemplo cuando refiere el paso de las tropas del rey Creso por el río Halis, que Herodoto vincula a una importante obra de ingeniería consistente en la desecación de su cauce fluvial. Por tanto, Herodoto recopila datos de diverso grado de fiabilidad, resultantes de una transmisión, directa unos, e indirecta otros.

Los datos actualmente aceptados por la historiografía corresponden a aquellas construcciones en las que la fuente de información empleada por el autor fue o pudo ser la propia observación directa y su experiencia personal; el propio cario apuntaba las ventajas de la observación directa frente a la transmisión oral, cuando, en ocasiones, distinguía la procedencia de las referencias, sin duda marcado por el concepto de la Historia que ya encontramos en los historiadores jónicos precedentes.

No se trata de un prejuicio a priori, puesto que no siempre el autor indica que la información resulta de su propia observación, sino que en algunos casos la meticulosidad en el tratamiento de ciertas construc-

ciones existentes en su época (como el ziggurat de Babilonia) hace pensar que pudo llegar a contemplarlas; en cualquier caso, siempre quedará la incertidumbre de si estuvo o no en un lugar determinado y, por tanto, el grado de fiabilidad de la información transmitida.

Su fiabilidad se acrecienta si consideramos que, en ocasiones, demostrando una tolerante actitud, presenta varias versiones de un mismo hecho, contraponiendo sus propias versiones a otras que estima menos racionales, y de las que sus objeciones —a veces— no pasan de ser inseguras y simplistas. En lo que a obras de construcción e ingeniería se refiere no faltan ejemplos de planteamientos divergentes, que en esta comunicación detallaremos: por ejemplo, sobre la realización o no de una obra de desecación del río Halis para el paso de las tropas del rey Creso[5];.... Sin embargo, no faltan contradicciones (e incluso repeticiones) en el texto, posiblemente fruto de una reordenación posterior de la obra, a la que faltó una revisión final.

El carácter del dato (descriptivo o cuantitativo)

La mayor parte de los datos ofrecidos por Herodoto son cualitativos; sólo aporta información numérica en lo que se refiere al número de obreros que trabajaron en la construcción de la pirámide de Keops, la duración del proceso,... Por el contrario, existen otros autores que son mucho más precisos y más dados a ello, como Diodoro de Sicilia que aporta información sobre las dimensiones del puente de Babilonia. La mayor parte de las cifras que Herodoto refiere son hoy cuestionadas.

La fiabilidad de la información recibida

En general, puede afirmarse que el texto que nos ha llegado mantiene el grado de fiabilidad inicial puesto que a lo largo de la Historia, el texto original no se ha visto alterado sustancialmente a diferencia de *Los Diez Libros de Arquitectura* de Vitruvio. La fiabilidad de la información transmitida, como antes se ha referido, unida a la fiabilidad de la información recibida contribuyen a la valoración del texto de Herodoto como fuente de información para el conocimiento de la construcción en la Antigüedad.

Estructura de la información aportada

Las referencias constructivas recogidas en el texto de Herodoto aparecen dispersas en la gran cantidad de relatos, acontecimientos y descripciones geográficas y etnográficas que el autor expone en cada loggoi, y que —a su vez se estructuran en 9 libros, cada uno de ellos de ellos intitulados con el nombre de una musa: *Clío (I)*; *Euterpe (II)*; *Talía (III)*; *Helpómene (IV)*; *Terpsícore (V)*; *Erato (VI)*; *Polimnia (VII)*; *Urania (VIII)* y; *Caliope (IX)*. Precisamente, el interés de estas páginas estriba en aunar todas estas referencias, dotándolas al tiempo de su correspondiente aparato crítico.

Las alusiones a estos pueblos, y en consecuencia a sus métodos constructivos no siguen pues un orden cronológico sino que obedecen al de los viajes del autor, condicionado por las circunstancias bélicas del momento. Así, a las primeras referencias que son griegas, destacando las que se refieren a Atenas, de la que demuestra un buen conocimiento, y desde la que debió recorrer Grecia Continental y constantes referencias a numerosas islas del Egeo y a su costa, zonas éstas que debió conocer en su juventud. Estarán seguidas por las persas (obtenidas tras la Paz de Calias, 448 a.C.), y tras las victorias de Ciro, Darío y Cambises, las babilónicas, egipcias, escitias y libias. Son bien conocidas sus referencias a Egipto a donde viajó después del año 449 (en realidad, algunos historiadores piensan que realizó dos viajes), país en el que no debió de estar más de cuatro meses según se ha podido demostrar por alusiones a las crecidas del Nilo. No faltaron viajes por oriente, aunque éstos resultan más difíciles de tallar, por la Magna Grecia y quizás por las colonias griegas de Francia y España, que probablemente visitara desde Turios, ciudad en la que —según la tradición— murió probablemente entre los años 429 y 424.

No obstante, y a pesar de la dispersión de referencias constructivas a lo largo de la obra, se observa una cierta acumulación de ellas, en los dos libros primeros, que, en general, son mucho más descriptivos, que los restantes, que, por el contrario, resultan más narrativos, ciñéndose el relato a partir del libro V a las Guerras Médicas. Por ejemplo, ya en el Libro III (*Talía*) sólo se recogen dos noticias relativas a el acueducto de Corys (capítulo IX) y Samos (capítulo XXIV).

Referencias constructivas

Sobre la construcción griega

Como ya hemos comentado, las referencias a la construcción griega aparecen fundamentalmente en el libro I, *Clío*. En éste, se aluden la invención de la soldadura (que Herodoto atribuye al orfebre Glauco, natural de Chío[6] la utilización de fábricas revestidas por ladrillos de oro (generalmente «blanquecinos» y excepcionalmente acrisolados, que por las dimensiones aportadas (tres y seis palmos) debían conformar una fábrica a soga y tizón (I, XXXV) y del vidrio (I, XXXV).

Sin embargo, la información más detallada se vincula directamente a las actuaciones del rey Creso, en concreto a la desecación del río Halis (I, LXXV), a la construcción del túmulo de Alyate, su padre (I, XCIII). La desecación del cauce del río Halis, una auténtica obra de ingeniería en opinión de Herodoto, —según el autor, que se apoya en algunos autores griegos, sin llegar a concretar en quiénes— se debió a Thales de Mileto, «que se hallaba en el campo», para que las tropas del rey Creso cruzaran el río Halis. Según Herodoto, procedió a la desecación del cauce «para que el río que corría a la izquierda del ejército corriese también a la derecha. Dicen que más arriba de los reales hizo abrir un cauce profundo, que en forma de semicírculo cogiese al ejército por la espalda, y que así extrajo una parte del agua, y volvió a introducirla en el río por más abajo del campo, con lo cual, formándose dos corrientes, quedaron ambas igualmente vadeables. Pero a Herodoto no parece conformarle esta explicación: «y aún quieren algunos que la madre antigua quedase del todo seca, con lo que yo no me conformo, porque entonces ¿cómo hubieran podido repasar el río cuando estuviesen de vuelta?»(I, LXXV).

Sobre la construcción del Túmulo de Alyate, padre de Creso, del que en época de Herodoto aún se conservaba la base, grandes bloques ciclópeos, sabemos gracias al autor que la parte desaparecida era de tierra; pero además de aportar sus dimensiones *(seis estadios y dos pietros o yugadas de longitud y trece yugadas de anchura),* el autor refiere cómo fue construido fundamentalmente (según él mismo deduce de sus dimensiones) por unas mujeres y también contando con la participación de diferentes gremios («de la plaza y de los artesanos»), quedando constancia mediante inscripciones de qué parte fue construida por cada uno de ellos (I, XCIII).

Sin embargo, dispersas en otros libros aparecen referencias a pueblos y ciudades griegas del Peloponeso y de Asia Menor. Así, en el Libro III (*Talía*) dedica parte del capítulo LX a la construcción del Acueducto de Samos, en una de las dos únicas referencias constructivas de dicho capítulo[7]. Hoy sabemos que este acueducto fue construido en el año 530 a.C. si bien la historiografía tradicional lo consideró durante mucho tiempo el primer acueducto de la Historia de la Construcción[8]. Según Herodoto, era una de las tres obras más importantes de esta población: «Éste es uno de los tres monumentos de Samos. El otro es su muelle, terraplén levantado dentro del mar, que tendrá 20 orgias de alto y más de dos estadios de largo. El tercero es un magnífico templo, el mayor realmente de cuantos he alcanzado a ver hasta ahora, cuyo primer arquitecto fue Reco, natural de Samos e hijo de Files» (III, LX).

Explica detalladamente el proceso constructivo de este acueducto subterráneo y sus dimensiones, al tiempo que indica que fue construido por Eupalino «el magerense»: «Por las entrañas de un monte que tiene 150 orgias de altura abrieron una mina o camino subterráneo, al cual hicieron dos bocas o entradas. Empezaron la obra por la parte inferior del monte y el camino cubierto que allí abrieron tiene de largo siete estadios ocho pies de alto y otros tantos de ancho. A lo largo de la mina excavaron después un acueducto de 28 codos de profundidad y de tres pies de anchura, por dentro del cual corre acanalada en sus arcaduces el agua que, tomada desde una fuente, llega hasta la misma ciudad. El arquitecto de este foso subterráneo, que sirviera de acueducto, fue Eupalino el magarense, hijo de Naustrafo» (III, LX).

En los libros V (*Terpsícore*), VI (*Erato*) y VII (Polimnia) se recogen de forma dispersa y en menor número que en otros libros, una no por ello menos interesantes, referencias a construcción en este caso, de pueblos en contacto con la población griega continental o de Asia Menor. Por ejemplo, los templos construidos en Atenas por los gerífeos (V, LXI), entre ellos el de Ceres Acaica, o las casas de Sardes, construidas —según el autor— con cañas (y algunas con adobe) y cubierta bardada (V, CI). Especialmente interesante es el pasaje recogido en el Libro V, Herodoto recoge la primera mención escrita que se conserva sobre una construcción palafítica, al aludir

las casas levantadas en la laguna…. El autor referencia los pilotes de madera que, anclados en el lecho del río, sostienen la edificación, la plataforma («tablado») sobre la que se alza la vivienda y la pasarela («puente») que une la plataforma con la zona de tierra. Según Herodoto en la construcción de estas peculiares viviendas intervinieron todos los miembros del poblado si bien sus necesarias reparaciones eran encomendadas a las mujeres de esta sociedad: «En medio de dicha laguna se ven levantados unos andamios o tablados sostenidos sobre unos altos pilares de madera bien trabados entre sí, a los cuales se da paso muy estrecho desde tierra por un solo puente. Antiguamente todos los vecinos ponían en común los pilares, y travesaños sobre que carga el tablado; pero después, para irlos reparando, se han impuesto la ley de que por cada una de las mujeres que tome un ciudadano (y cada ciudadano se casa con muchas mujeres) ponga allí tres maderos, que acostumbran acarrear desde el monte llamado Orbelo. Viven, pues, en la laguna, teniendo cada cual levantada su choza encima del tablado donde residen, y habiendo en cada choza una puerta pegada al tablado que da a la laguna...»[9].

En el libro VIII, *Polimnia*, analiza la construcción del puente sobre el Helesponto, sobre el proceso de excavación (VII, XXIII-XXVI).

Sobre la construcción mesopotámica. Babilonia

Si bien Herodot» (o nos anuncia el tratamiento de importantes focos mesopotámicos, entre ellos de Nínive, una de las tres capitales asirias, sus referencias a la construcción mesopotámica (y, en general a sus diferentes culturas), recogidas en el libro I (*Clío*), se limitan al período neobabilónico, concretamente al reinado de Nabucodonosor, al que corresponden las intervenciones constructivas más importantes de esta fase. En cualquier caso, las indicaciones del autor sobre las actuaciones constructivas del monarca, que el autor llama Semirámis, constituyen una fuente de información imprescindible sobre las construcciones de este período, que se conocen fundamentalmente[10] gracias al propio relato del monarca y a las referencias de Estrabón, Eratóstenes de Alejandría y, muy especialmente, de Diodoro de Sicilia en el libro III de su *Historia Natural* [11] quien al describir Babilonia alude a las técnicas empleadas para la construcción de la cuidad, basándose en fuentes anteriores, hoy perdidas, que él llegó a consultar. Sin embargo, Diodoro de Sicilia es mucho más fantástico que Herodoto.

Sobre materiales y técnicas constructivas

Herodoto no describe con carácter generalista técnicas constructivas mesopotámicas si bien este tipo de información y las referencias a la construcción neobabilónica que aparecen en el texto vienen vinculadas a la descripción de las edificaciones de mayor interés de la ciudad, diseminadas en párrafos en los que se combina con información de carácter descriptivo, a veces meramente arquitectónico o incluso urbanístico; en cualquier caso, están especialmente marcadas en algunos pasajes de su obra, entre ellos, el ziggurat de la ciudad, advocado al dios Marduk, algunas construcciones hidráulicas, como la red de canales, zanjas y diques, el puente de Babilonia y la muralla de la ciudad, siendo éste uno de los pasajes que mayor interés presenta en este sentido.

Sus alusiones constructivas se refieren a la utilización de ladrillos, a la costumbre de armar las fábricas, incorporándoles carrizo, y al betún, un material habitual en Mesopotamia, a su uso y a la presencia de diferentes pozos en el país. En concreto, en el pasaje dedicado a la muralla de Babilonia, presta una especial atención a «cómo se hizo la muralla y en qué se empleó la tierra sacada del foso». Refiere la realización de ladrillos, y, con cierta extrañeza, la utilización de un mortero de betún, en este caso en su vertiente líquida —como el propio autor apunta— y la incorporación de carrizos para armar la fábrica: «La tierra que sacaban del foso la empleaban en formar ladrillos, y luego que estos tenían la consistencia necesaria los llevaban a cocer a los hornos. Después, valiéndose, en vez de argamasa, de cierto betún caliente, iban ligando la pared de treinta en treinta filas de ladrillos con unos cestones hechos de caña, edificando primero de este modo los labios o bordes del foso, y luego la muralla misma» (I, CLXXIX).

Tampoco faltan otro tipo de consideraciones de carácter general que aporta al describir alguna de estas construcciones. Por ejemplo, al dar las medidas de la muralla de Babilonia, indica que el codo real es «tres dedos mayor del codo común y ordinario» (I, CLXXIX).

Como hemos indicado, no faltan en la obra de Herodoto referencias al betún, recogiendo este autor alusiones sólo comparables, en número, cantidad e información, a las que ofrece Estrabón, y en menor medida Eratóstenes, según indica el mismo autor. Las alusiones que Herodoto hace al betún aparecen, por ejemplo, al referir la muralla de Babilonia en el capítulo CLXXIX.

Ello no resulta extraño en tanto una de las particularidades de la construcción en la Mesopotamia histórica fue el empleo del betún, material abundante en la región, con una doble funcionalidad: como aislante y como argamasa. Ambos usos, que ya se daban al betún en Mesopotamia desde los comienzos de la época sumeria habían perdurado a lo largo de las diferentes culturas que poblaron la región, si bien encontraron en el período neobabilónico una frecuencia mayor. De hecho, la existencia en toda Mesopotamia una gran cantidad de pozos de betún, hizo que ya caldeos, casitas y asirios lo emplearon como argamasa e incluso para revestir paramentos exteriores, jugando con los contrastes del color negro del betún y del blanco de la cal. En cualquier caso, para las culturas que precedieron a la neobabilónica su uso como argamasa fue sólo excepcional, prefiriéndose un mortero bastante pobre, con barro muy fluido, que en ocasiones (como en el ziggurat casita de Dur Kurigalzu) era de barro bituminoso. Sí lo emplearon para encastrar revestimientos de arcilla cocida sobre otras superficies. Ni siquiera los asirios, que emplearon una mayor diversidad de morteros lo generalizaron, habiendo de esperar al reinado del monarca neobabilónico Nabucodonosor para que el betún asfáltico se empleara de modo habitual, lo que desde su muerte, no volverá a suceder hasta los siglos XIX y XX. Fue común el uso del betún como impermeabilizante Con estas últimas palabras, Estrabón se refería al uso del betún como impermeabilizante; con cierta regularidad (cada ocho o nueve hiladas de adobe) colocaban sobre una capa de barro bituminoso un lecho de esteras de carrizo (*phragmites communis*, una gramínea que crece en las riberas cenagosas, abundante en la región e imputrescible), y a veces hojas de palmera entrelazadas, impregnadas en betún.

A Herodoto, al igual que a Estrabón[12], le llama poderosamente la atención la abundancia de betún que produce la zona, comentando —también como Estrabón— que la ciudad de Hit era la principal fuente de aprovisionamiento de Babilonia (aunque Estrabón especificaba que lo era de betún *seco*. En palabras de Herodoto: «Hay una ciudad llamada Is (Hit) a ocho días de viaje de Babilonia, donde fluye un pequeño río, llamado asimismo Is, el cual es tributario del Eúfrates; y del manantial de este río brotan con el agua muchas gotas de betún, el cual se trajo de allí para la muralla de Babilonia»[13].Sin embargo, Herodoto no hace referencia a las dos variantes de betún, la sólida y la líquida (que autores como Estrabón referirán como *seca* y *napha*, respectivamente)[14], *aunque al referir la construcción de la muralla de Babilonia, explica con cierta extrañeza, la utilización de un mortero de betún,* en este caso en su vertiente líquida —como el propio autor apunta (I, CLXXIX). Como ya hemos indicado, el pasaje dedicado a la construcción de la muralla de Babilonia será uno de los que mayor interés presente como descripción de las técnicas constructivas del pueblo neobabilónico.

Sobre edificaciones de Babilonia

Como se ha indicado, el cario dedica pasajes a edificaciones significativas de la ciudad como el ziggurat de Marduk, algunas construcciones hidráulicas, como la red de canales, zanjas y diques, el puente de Babilonia y la muralla de la ciudad. Sin embargo, a diferencia de Diodoro de Sicilia, Herodoto no refería algunas construcciones emblemáticas de la ciudad, entre ellas el pasaje subterráneo, abovedado y realizado con ladrillo cocido e impermeabilizado con betún, que comunicaba el Palacio Real de Nabucodonosor con el exterior en previsión de cualquier peligro[15], que, sin embargo, Diodoro de Sicilia sí lo describía o como los jardines Colgantes de Babilonia, situados al NE del Palacio Real, que fueron considerados una de las Siete Maravillas de la Antigüedad y que Diodoro refería como una construcción abovedada en ladrillo cocido y aportando sus dimensiones y la duración de la construcción[16].

Sobre el ziggurat de Marduk

La descripción que Herodoto hace de la ciudad de Babilonia se centra en la descripción de su ziggurat, que sabemos estaba advocado al dios titular Marduk, recogida en el capítulo CLXXXI del Libro I. Es por tanto probable que, existiendo aún en época del grie-

go, éste lo llegara a contemplar, siendo esa la razón de la meticulosidad en su tratamiento. De hecho, el autor refiere su emplazamiento privilegiado en el conjunto urbano, la planta del edificio, su maciza construcción, el sistema de acceso, los revocos de sus paramentos,...

Refiere su planta cuadrada y dos estadios de lado, y la presencia en su interior de un edificio escalonado, el ziggurat, sin bien no llega a utilizar este término. Indirectamente, al calificar esta torre como maciza, Herodoto refiere el modo de construcción de esta fábrica, tal como hoy sabemos que eran los ziggurats mesopotámicos, macizos, a diferencia de los elamitas, constituidos por pasillos abovedados en su interior. Según Herodoto, se elevaban ocho pisos diferentes («hasta llegar al número de ocho torres»), existiendo tantos pisos como planetas; así mismo, indicaba que el primer piso del ziggurat tenía un estadio de altura y otro de espesor, y que el acceso se realizaba a través de una escalera exterior dispuesta «alrededor de todas ellas (las torres)... (existiendo) en la mitad de las escaleras un rellano con asientos, donde pueden descansar los que suben». El autor finalizaba aludiendo la presencia del santa sanctorum sobre el último piso: «en la última torre se encuentra una capilla, y dentro de ella una gran cama magníficamente dispuesta, y a su lado una mesa de oro» y que los diferentes pisos de la edificación se pintaban con los colores simbólicos de los astros en el siguiente orden: blanco, negro, púrpura, azul, rojo, reservándose el plata y el oro para los últimos pisos.

El dato que ofrece el viajero sobre las ocho plantas del edificio se contradice con la información aportada por alguna tablilla cuneiforme generada por la gestión del templo, en la que se refiere la existencia de tres pisos: el primero de 100 m^2. X 35 m. el segundo de 80 m^2. x 20 m. y el tercero de 65 m^2. x 7 m. Esta disparidad ha contribuido a la diversidad de interpretaciones; así por ejemplo, Koldewey considera que sólo debió tener dos plantas.

Sobre la disposición urbanística de Babilonia

Las referencias a la distribución urbanística de Babilonia están dispersas, en el Libro I, en los capítulos CLXXX y CLXXXI. Por ejemplo, en el pasaje dedicado a la descripción del ziggurat de Marduk (Libro I, CLXXXI) explica cómo la ciudad estaba ceñida por un doble muro, el interior más estrecho, estaba dividida en dos partes («cuarteles»), cada uno con un alcázar propio. «En el uno está el palacio real, rodeado de un muro grande y resistente, y en el otro un templo de Júpiter Belo, con sus puertas de bronce». En el mismo libro, pero en el otro capítulo, recoge algunos datos sobre la organización de la ciudad (I, CLXXX), por ejemplo, que sus casas eran de tres y cuatro plantas de altura, y que la estructura urbanística partía de un trazado reticular teniendo como punto de referencia el río, de modo que desde todas y cada una de las calles transversales a éste la población de los correspondientes barrios tenían acceso a las márgenes del río a través de puertas de bronce: «La ciudad, llena de casas de tres y cuatro pisos, está cortada por unas calles rectas, así las que corren a lo largo, como las transversales que cruzan por ellas yendo a parar al río. Cada una de estas últimas tiene una puerta de bronce en la cerca que se extiende por las márgenes del Éufrates; de manera que son tantas las puertas que van a dar al río, cuantos son los barrios entre calle y calle». Toda la ciudad estaba rodeada de una muralla, realizada con ladrillos: «La muralla, por entrambas partes, haciendo un recodo llega a dar con el río, y desde allí empieza una pared hecha de ladrillos cocidos, la cual va siguiendo por la ciudad adentro las orillas del río».

Sobre la infraestructura hidráulica de la ciudad

Gran parte de los comentarios del Libro I (*Clío*) de Herodoto sobre construcción babilónica, en concreto de los capítulos CLXXXIV y CLXXXV, están dedicados a las obras de infraestructura hidráulica de la que Nabucodonosor (Semíramis) dotó a la ciudad. Entre ellas, la red de diques, canales (I, CLXXXIV) y acequias al Norte del país, aprovechando que allí el cauce del río era recto (I, CLXXXV), estas últimas en un número de 180, según apuntará en otra parte del texto: «...señaló con unos cordeles ciento ochenta acequias, todas ellas dirigidas de varias maneras...». También describe cómo el monarca ordenó la construcción de diques y terraplenes para contención de las riadas del Eúfrates para evitar que el río «inundase, como anteriormente, los campos» y en los propios márgenes de la ciudad de Babilonia. En ambos capítulos, el autor elogia la grandeza de estos trabajos, «dignos de admiración»; así refiere «que asom-

bra la grandeza y la elevación de estos diques» (I, CLXXXIV). Indica que en diversos puntos de su cauce, se cortó la corriente del Eúfrates para que «la corriente del río, cortada con varias vueltas, fuese menos rápida y la navegación para Babilonia más larga...».

En los capítulos CLXXXV y CLXXXVI, Herodoto refiere cómo el rey realizó simultáneamente tres importantes operaciones de infraestructura hidráulica. De una parte, ante las necesidades de abastecimiento urbano, construyó en las proximidades del río un pantano que se realizó con «enormes piedras», «asegurándose las orillas con tierra procedente de la misma excavación»; si bien su fin último era almacenar el agua del río en caso de inundación, para asegurar el abastecimiento de la población y disminuir la posibilidad de que la riada ocasionara destrozos, en principio el pantano permitiría almacenar (provisionalmente) el caudal del Eúfrates durante las obras que el mismo rey iniciara de construcción de un puente una vez desecada la antigua madre del río. Así refería Herodoto: «Hizo cortar y labrar unas piedras de extraordinario tamaño, y cuando estuvieron ya dispuestas y hecha la excavación, torció y encaminó toda la corriente del río al lugar destinado para la laguna. Mientras ésta se iba llenando, secábase la madre antigua del río... Después que con la venida del río se llenó la laguna y estuvo concluido el puente, restituyó el Éufrates a su antiguo cauce; con lo cual, además de proporcionar la conveniencia del vecindario, logró que se creyese muy acertada la excavación del pantano».

Diodoro de Scilia no referirá este pantano, pero sí el depósito que Nabucodonosor mandó construir en ladrillo cocido e impermeabilizado con betún: «Después de esto, Seramis escogió el punto más bajo de Babilonia y construyó un depósito cuadrado de trescientos estadios de largo en cada lado: construido de ladrillo cocido y de betún, con una profundidad de treinta y cinco pies»[17].

En segundo lugar, para evitar que ante una riada la ciudad se pudiera inundar, Nabucodonosor mandó reforzar las orillas del río con muros de ladrillo cocido en aquellos tramos en los que el Eúfrates atravesaba Babilonia, los cuales eran accesibles a la población, ya que desde cada calle, cerradas por puertas, podía bajarse a las márgenes.

Nabucodonosor ordenó que, paralelamente, en las proximidades del centro de la ciudad, se construyera un puente para unir los dos cuarteles en los que ésta se dividía, la mitad oriental, mayor y más antigua (donde se encontraba el Santuario de Marduk y el Palacio Real), con la Occidental, estando separadas ambas en algunos tramos por hasta cien metros. Según Herodoto: «En el tiempo que duró esta operación, mandó hacer dos cosas: edificar en las orillas que corren por dentro de la ciudad y a las cuales se baja por las puertas que cada calle tiene, una margen de ladrillos cocidos, semejantes a las obras de la muralla, y construir un puente, en medio poco más o menos de la ciudad...», Los sillares de sus pilas pétreas, «con las piedras labradas de antemano» uniéndolas entre sí con hierro y plomo» afirmación por la que sabemos que ya en el siglo VI a.C. los babilonios empleaban grapas de sillería con plomos vertidos en las juntas para evitar la oxidación, procedimiento que se convertiría en habitual en el mundo griego clásico y que se mantendría durante siglos a lo largo de la Historia. El piso era de madera y desmontable durante la noche para evitar los robos: «Sobre las pilastras de esta fárica se tendía un puente hecho de unos maderos cuadrados, por donde se daba paso a los babilonios durante el día; pero se retiraban los maderos por la noche para impedir muchos robos, que se pudiesen cometer por la facilidad de pasar de una parte a otra». No era ésta una singularidad del puente de Babilonia; de hecho, el de Khorsabad o Dur Sagina que unía las dos mitades fortificadas en que la ciudad asiria estaba dividida, también se desarmaba durante la noche para evitar que ambas mitades quedaran incomunicadas en caso de un ataque enemigo.

Siglos más tarde, Diodoro de Sicilia completaría esta información ofreciendo algunos datos cuantitativos y descriptivos que no ofrecía el texto de Herodoto, que nos permiten afirmar que el testimonio de Diodoro de Sicilia, en lo que respecta al puente de Babilonia, es mucho más preciso que el de Herodoto de Halicarnaso. Así, aunque vuelve a reiterar cuestiones ya recogidas por Herodoto, como el sistema de unión de los sillares de las pilas, Diodoro indicaba que se construyó en el sitio más estrecho del río; además, aportaba el dato de su longitud (cinco estadios), aludía el proceso de cimentación, «colocando los pilares cuidadosamente, de forma que se hundiesen doce pies en su lecho», la existencia de tajamares circulares en las pilas, en el lado de la corriente del río y concretaba los tipos de maderas empleados en el piso del puente, realizado con vigas de cedro y ciprés

y, excepcionalmente, con troncos de palmera. Diodoro sí se refería al amplio muelle, de ciento sesenta estadios de largo, que completaba el conjunto[18].

Sobre la muralla de Babilonia

En los capítulos CLXXVIII y CLXXIX, Herodoto incluye referencias a la muralla de la ciudad de Babilonia, no sin antes afirmar que las fortificaciones neobabilónicas eran «las más perfectas de cuantas ciudades conocemos» (I, CLXXXVIII). Así, aporta datos sobre la construcción de la muralla, así como del «profundo y ancho foso, lleno de agua y cincuenta codos reales de ancho y de alto hasta doscientos» que la rodeaba, indicando que se levantó con adobes realizados con «tierra sacada del foso», posteriormente cocidos en hornos, dispuestos en fábricas armadas con esteras de carrizo para su nivelación (en este caso, cada treinta hiladas) y trabadas con mortero de betún líquido, evidenciando en esta última cuestión su extrañeza: «La tierra que sacaban del foso la empleaban en formar ladrillos, y luego que estos tenían la consistencia necesaria los llevaban a cocer a los hornos. Después, valiéndose, en vez de argamasa, de cierto betún caliente, iban ligando la pared de treinta en treinta filas de ladrillos con unos cestones hechos de caña, edificando primero de este modo los labios o bordes del foso, y luego la muralla misma».

Aunque como indica el propio autor le interesa especialmente «cómo se hizo la muralla y en qué se empleó la tierra sacada del foso», no faltan sin embargo, referencias a la planta de esta muralla, aludiendo a los habitáculos existentes entre los dos lienzos de muralla, cuyas dimensiones venían determinadas por los vehículos de transporte, y a las cien puertas de bronce que ésta tenía: «En lo alto de ésta fabricaron por una y otra parte unas casillas de un solo piso, las unas enfrente de las otras, dejando en medio el espacio suficiente para que pudiese dar vueltas una carroza. En el recinto de los muros hay cien puertas de bronce, con sus quicios y umbrales del mismo metal».

Sobre la construcción persa

Siendo la guerra con los persas el punto de partida del texto de Herodoto, no podían faltar alusiones a la construcción persa, si bien se limita a una referencia a la ciudad de Ectabana en el capítulo XCVIII del Libro I (*Clío*), una «plaza fortificada construida por los medos y de un palacio «grande y fortificado» (I, XCVIII) «digno de la majestad del Imperio», ciudad ésta que posteriormente, en época de Herodoto, se conocería como Ectabana. El autor, describe su recinto amurallado, emplazado en una colina redonda y dotado de siete lienzos almenados, circulares y concéntricos, iguales en altura, de una fábrica «de gran perfección». Lo iguala en cuanto a sus dimensiones con las del recinto ateniense. Refiere que las almenas de los diferentes cercos variaban de color, siendo de fuera a dentro blancas; negras; rojas; azules, amarillas, plateadas y doradas.

No obstante, en el libro IV, *Melpómene*, incluye algunas referencias al rey Darío y al pueblo persa. La falta de referencias a construcciones religiosas no ha de extrañarnos en un pueblo que no edificó templos, puesto que sus ofrendas las realizaba a cielo abierto, en grandes piras que como Herodoto indica se denominaban altares de fuego (IV, LXII). Asimismo, comenta la construcción del puente de barcas sobre el Ponto, en el Bósforo, realizado por Mandrocles, natural de Samos (IX, LXXXIX), a quien Herodoto califica como «ingeniero o arquitecto», evidenciando así la dualidad de funciones —y por tanto de calificativos— de los profesionales de la construcción en la Antigüedad. La construcción del puente fue generosamente pagada por parte del monarca «a razón de diez por uno», por «...lo bien construido que le pareció el puente de barcas», para que sus tropas pudieran atravesar el Bósforo. Herodoto refiere así el primer puente de barcas de la Historia del que se tiene constancia.

También refiere cómo Darío levantó en el Bósforo sendas columnas de mármol blanco, grabando en una con letras asirias y en otra en letras griegas el «nombre de todas las naciones que su ejército conducía», columnas que según Herodoto después «cargaron los bizantinos... y llevándolas a su ciudad, se valieron de ellas para levantar el ara de Diana Ortosia, exceptuando solamente una piedra llena de caracteres asirios, que fue dejada en Bizancio en el templo de Baco». Herodoto identificaba dicho puente, según «mis conjeturas» con el que estaba en medio de Bizancio y «del templo de Júpiter situado en aquella boca».

Herodoto le llamaron la antención las casas de los nómadas, «unas cabañas hechas de varillas de gamon

(planta lilácea) entretejidas con juncos»,... «para ser trasladadas de un lugar a otro» (IV, CXC).

Sobre la construcción egipcia

Hacia el año 450 a.C. Herodoto visitó Egipto. En el libro II, *Euterpe* (musa de la música), el griego realiza una profunda descripción de la vida cotidiana de los egipcios, haciendo especial hincapié en la forma de ser de sus habitantes, sus costumbres, su religión, etc. un relato el suyo por el que se han podido reconstruir algunos aspectos significativos de la vida de este pueblo de los que solamente teníamos constancia a través de las diferentes pinturas de las tumbas. Su testimonio lo basó fundamentalmente en la transmisión oral. Él mismo, en su segundo libro, en el capítulo CXXIII dice en qué contexto deben ser evaluadas sus crónicas: «... si alguno hubiere a quien se hagan creíbles esas fábulas egipcias, pues no salgo fiador de lo que cuento, y sólo me propuse por lo general escribir lo que otros me referían»...

Herodoto ofrece noticias sobre diversas tipologías constructivas egipcias correspondientes a las diferentes etapas de la Historia de Egipto, si bien, evidentemente, el autor no establece la distinción en la periodificación que actualmente se sigue. Incluso, la denominación de los monarcas que Herodoto dice haber encargado tales construcciones presentan deficiencias terminológicas, resultando en algunos casos difíciles de identificar; habla de Meris, Ramsés,...

a. Noticias sobre construcciones anteriores a Keops

Aunque escasas, y con evidentes problemas terminológicos, Herodoto, incluye algunas alusiones a dos reinados anteriores al de Keops, al que dedica una mayor atención; los de Meris (capítulo CI y CVIII) y Ramsés.

El primero al que se refiere es Meris, a quien identificamos con el faraón Zoser, a quien en opinión de Herodoto «tantos fueron los monumentos que (a Meris) se (le) deben, cuando ni uno solo dejaron los demás» (II, CVIII); no ha de extrañarnos esta afirmación debiéndose a este faraón el inicio de la construcción monumental en piedra en la Historia de la Construcción egipcia con la obra del complejo funerario de la pirámide escalonada de Sakara realizada por Imhotep. De éste refiere que levantó numerosas obras públicas para el control fluvial, dedicándose en especial a «abrir los fosos y canales que al presente cruzan Egipto»... «... para proveer de agua saludable a sus vasallos... faltos de agua corriente al retirar el Nilo su avenida». En varios momentos, Herodoto indica que el monarca empleó mano de obra esclava no sólo en la construcción de dichos canales sino del que denomina *templo de vulcano* (II, CVIII), que ha de ser el templo funerario incluido en el témenos de la pirámide escalonada. De éste, destacaba especialmente su pórtico de acceso monumental, en cuya descripción, por primera vez Herodoto aplica un término griego que aún hoy sigue empleándose, los propileos:

> ...pues éste hizo muchas obras públicas edificando en el templo de Vulcano los propileos o pórticos que miran al viento Bóreas, mandando excavar una grandísima laguna cuyos estadios de circunferencia referiré más abajo y levantando en ellas unas pirámides, de cuya magnitud daré razón al hablar de la laguna...(II, CI).

Dice que el rey Meris empleó mano de obra esclava (por ejemplo, para trasladar los bloques de mármol «que en él hay de una grandeza descomunal» al templo de Vulcano).

Asimismo, Herodoto incluye referencias al faraón Ramsés (a su reinado y a su actividad constructiva) en los capítulos CXXI y CXXIV de su obra. Actualmente sabemos que el predecesor en el trono de Keops fue Snefru; sin embargo, Herodoto indica que fue Ramsés, a quien atribuye un periodo de florecimiento y justicia, «permaneciendo las leyes en su vigor y viviendo la nación en el seno de la justicia, de la abundancia y de la prosperidad; pero Quéope, que le sucedió en el trono, echó a perder un Estado tan floreciente» (II, CXXIV). De su intensa actividad constructiva, Herodoto destacaría especialmente los propíleos del templo de Vulcano («...Rampsés, quien dejó como monumentos de su reinado los propíleos que se ven en el templo de Vulcano a la parte de poniente»...)(II, CXXI). Habla de construcciones subterráneas y de un monumento de nueva invención («Mandó fabricar una larga habitación subterránea, con el pretexto de dejar un monumento de nueva invención...»).

b. Noticias sobre la construcción de las pirámides

Como ya hemos indicado, en el Libro II, *Euterpe*, a partir del capítulo VII, Herodoto empieza a hablar de

las pirámides. Fundamentalmente, el historiador habla de las pirámides del Imperio Antiguo, ofreciendo interesantes datos sobre las que hoy conocemos como pirámides de Gizeh, aunque si bien la descripción de la meseta sido uno de los pasajes más comentados, no lo es menos el fragmento en el que hace alusión al célebre laberinto. Herodoto atribuyó la construcción de la primera pirámide a Keops, la de la segunda a Kefrén y la de la tercera a Micerinos, nombres helenizados que la arqueología ha identificado como Khufu, Khafa y Menkaura. Tras emplazar las canteras, («...en ella están las canteras que se abrieron para las pirámides de Menfis. Al otro lado de Egipto, confinante con la Lidia, se dilata otro monte pedregoso, donde están las pirámides...» (II, VIII), refiere diferentes pirámide, si bien dedica un especial énfasis a la de Keops, que hoy conocemos como la *Gran Pirámide*.

La pirámide de Keops

Herodoto dedica una especial atención al reinado de Keops, y concretamente —como es lógico— en su pirámide, que contempló hacia el año 440 a.C. De ella, refiere la duración de su proceso constructivo, la cantidad de bloques empleados en la obra, el procedimiento de transporte de las piedras,...

Interés historiográfico del pasaje

Desde un punto de vista historiográfico, el interés del pasaje que Herodoto dedica a la pirámide de Keops es triple. En primer lugar, es uno de los más conocidos de su obra y, por su amplia difusión, uno de los más aludidos por la historiografía a lo largo de la Historia, si bien, en ocasiones, cayendo en interpretaciones erróneas. En segundo término, se convirtió en el primero, entre los grandes estudiosos cuyos nombres y obras han llegado hasta nosotros en comentar sus enigmáticos signos.

Además, su testimonio es el más completo y detallado de los de la Antigüedad si bien no fue el único, pues de hecho, a través de las referencias de otros autores[19] (por ejemplo de Plinio el Viejo —quien calificaría la obra de una *loca y estúpida exhibición de la riqueza real*— se sabe que otros muchos escritores plasmaron datos y opiniones sobre ella en obras —salvo fragmentos aislados— hoy perdidas, entre otros, Eukemerus, Duris de Samos, Aristágoras, Antístenes, Demetrio de Fanelón, Demóstenes, Artemidoro de Éfeso, Dionisio de Halicarnaso, Alejandro Polihistor, Butoridas, Apión y Dionzelo. De este modo, fueron contadas las cuestiones en las que estos autores le superaron, destacando especialmente sus afirmaciones sobre las cámaras subterráneas de la pirámide y el pozo de acceso que, como posteriormente las de Plinio, resultarían bastante vagas en relación a la de incluida por Estrabón en el año 24 a.C. en su *Geografía*[20], quien llega a aportar datos sobre las medidas de la siringa (galería), tan cercanos a los que posee que hacen pensar que el autor conoció la verdadera entrada si bien durante mucho tiempo se consideró que el califa Abdullah Al Mamún, que reinó en la primera mitad del siglo IX, especialmente interesado en la Gran Pirámide, fue el primero en entrar en ella.

Aportaciones del autor

Las aportaciones de Herodoto son muchas dada la multiplicidad de datos que ofrece sobre la obra: así, es el primero que refiere la finalidad funeraria de la edificación, la duración del proceso constructivo, ...

Sobre la finalidad funeraria de la edificación

Herodoto fue el primero en afirmar algo hoy evidente —el carácter funerario de esta construcción— basándose en testimonios orales, si bien indicaría que el faraón Keops nunca fue enterrado allí. Siglos después, Diodoro de Sicilia, referiría también que éste, como Kefrén, no fueron enterrados en sus correspondientes pirámides por el temor al ultraje por una población tan castigada. Los egiptólogos llegaron a aceptar la teoría de que la Gran Pirámide fue construida por Keops apoyándos, únicamente, en ambos testimonios, a pesar de que la prueba irrefutable para la arqueología oficial de que era la tumba de Keops vino con el hallazgo del cartucho del faraón en la quinta cámara de descarga, estudiados por Samuel Birch, experto en jeroglíficos del Museo Británico. Por la Estela del Inventario, una antigua inscrición jeroglífica que se halla en el Museo del Cairo, sabemos que era un templo construido por Keops advocado a Isis y que Keops se hizo enterrar junto a ella en una pirámide menor, seguramente la misma «isla re-

gada con agua del Nilo» que mencionó Herodoto como «tumba del faraón».

Sobre la mano de obra y la duración del proceso constructivo

En el c1apítulo CXXIV, Herodoto se refiere a la mano de obra empleada en la construcción de la pirámide y aporta una serie de datos sobre la duración de sus obras así como de la de la calzada que daba acceso a la pirámide. Tres mil hombres esclavos trabajarían durante tres meses en la construcción, involucrándose a una serie de obreros que transportaban la piedra necesaria:

«Primeramente, cerrando los templos, prohibió a los egipcios sus acostumbrados sacrificios; ordenó después que todos trabajasen por cuenta del público, llevando unos hasta el Nilo la piedra cortada en el monte de Arabia, y encargándose otros de pasarla en sus barcas por el río y de transportarla al otro monte que llaman de Libia.

En esta fatiga ocupaba de continuo hasta tres mil hombres, a los cuales de tres en tres meses iba relevando y sólo en construir el camino para conducir dicha piedra de sillería hizo penar y afanar a su pueblo durante diez años enteros; lo que no debe extrañarse, pues este camino, si no me engaño, es obra poco o nada inferior a la pirámide misma: cinco estadios de largo, diez orgias de ancho y ocho de alto en su mayor elevación, y construido de piedra no sólo labrada, sino esculpida además con figuras de varios animales. Y en los diez años de fatiga empleada en la construcción del camino no se incluye el tiempo invertido en preparar el terreno del collado donde las pirámides debían levantarse, y en fabricar un edificio subterráneo que sirviese para sepulcro real, situado en una isla formada por una acequia que del Nilo se deriva.

En cuanto a la pirámide, se gastaron en su construcción veinte años: es una fábrica cuadrada de ocho pletros de largo en cada uno de sus lados y otros tantos de altura, de piedra labrada y ajustada perfectamente, y construida de piezas tan grandes que ninguna baja de los treinta pies» (II, CXXIV).

Herodoto dice que en la construcción de esta pirámide se emplearon veinte años, si bien no indica el tiempo que, anualmente, una persona debía dedicar a estas labores ni si la construcción se interrumpiría en algún momento del año. Esta afirmación, que la historiografía ha venido reiterando es actualmente cuestionada, estimándose que la duración de la construcción debió ser mayor.

Como ya se ha referido, a pesar de que durante mucho tiempo se han repetido las afirmaciones basadas en los datos numéricos aportados por Herodoto, actualmente éstos son hoy cuestionados tanto los que se refieren a la duración del proceso constructivo (veinte años, según el autor) como a la cantidad de obreros que participaron su construcción. Sin embargo, por no precisar de un alto grado de tecnología, sí parece ser correcta la apreciación numérica que Herodoto da sobre los diez años que, paralelamente a la construcción de la siringa, se tardó en construir la rampa o calzada que une la Gran Pirámide con el lecho que tuvo el Nilo, cuya extensión viene a ser de 900 m. por unos 12 m. de ancho, en total unos 10.000 metros cuadrados.

Con respecto a los veinte años que tardó luego en construirse la pirámide, el Dr. Zahí Hawass, director de excavaciones de la Meseta de Gizeh, partiendo de recientes descubrimientos e indicios hallados en algunas tumbas de obreros de las pirámides, que apuntan que los obreros sólo debieron trabajar cuatro meses cada año[21], considera imposible que este número de obreros pudiera colocar 125.000 bloques de piedra anuales[22], 30.000 bloques al mes o 1.000 bloques por día, valorando la jornada laboral de los obreros de la época de unas doce horas. Según sus cálculos, la afirmación de Herodoto implicaría que en 40 segundos un equipo de hombres (que desconocían en hierro y la rueda), serían capaces por cada bloque de seleccionar la piedra en la cantera, cortar el bloque, transportarlo varios kilómetros, cruzar el Nilo, izarlo a cientos de metros y colocarlo milimétricamente.

Otros estudiosos han cuestionado, igualmente, pero desde diferentes puntos de vista, las aportaciones de Herodoto. Así, en opinión de Delgado, resulta improbable que en tan sólo veinte años se edificara una construcción de dos millones y medio de metros cúbicos de piedra (la pirámide de Keops, si bien la cantidad es aproximada a la de Kefrén) cuando, según el ingeniero Jomard, miembro de la expedición francesa de Bonaparte, y como posteriormente corroboraría el arqueólogo Lauer, durante los últimos 1.500 años de la historia clásica egipcia, correspon-

dientes al Imperio Nuevo, las dinastías posteriores y el período ptolomaico, se usaron cuatro millones de metros cúbicos de piedra. Además, hay que considerar que solamente la primera de estas gradas, de las 204 que tuvo, tiene casi 54.000 metros cuadrados; resulta incomparable respecto a la duración de la construcción de la rampa, teniendo en cuenta que ésta no alcanzó la perfección de la Gran Pirámide.

Sobre los medios auxiliares empleados en el proceso constructivo

En su pasaje, Herodoto refiere que en la construcción de las pirámides se emplearon unas máquinas de madera, asunto sobre el cual el autor no deja especialmente claro si se trató de una misma máquina reutilizada en sucesivas ocasiones o si se utilizaron simultáneamente diferentes ejemplares. El pasaje es el siguiente:

«La pirámide fue adicionada en forma de peldaños. Iniciada la construcción de esta forma, se elevaron del suelo las otras piedras, y ayudándose con máquinas construidas mediante cortas piezas de madera, fueron colocadas sobre la primera hilera. Cuando una piedra llegaba a tal sitio, la cogía otra máquina que descansaba sobre esta primera hilada; seguía ascendiendo con la ayuda de esta primera máquina, ya que había tantas máquinas como hiladas. Quizás también los obreros dispusieran de una sóla máquina, fácil, por su ligereza, de ser transportada de una a otra hilada, tan pronto como la piedra había sido retirada. Explico la cosa de dos maneras distintas, tal y como la he oido contar. Inmediantamente, comenzaban a revestir y perfeccionaban lo alto de la pirámide; de allí descendían a las zonas vecinas y, finalmente, a las inferiores y a las que estaban a ras del suelo».

Las interpretaciones que se han realizado hasta la fecha sobre dicho pasaje han sido tres: la historiografía tradicional tradujo el término griego *mechane* empleado por Herodoto con la acepción moderna de máquina, si bien destacados egiptólogos vienen defendiendo una interpretación radicalmente diferente basada en una correcta traducción del término como cosas inventadas, o fabricadas» y que por tanto podría interpretarse como un molde.

Teorías alternativas de la historiografía tradicional

1. Hipótesis de las máquinas reforzadas. Hasta comienzos del siglo XX, las palabras de Herodoto se interpretaron como máquinas de madera, las primeras de la Historia de la Construcción; así, en grabados del proceso constructivo de la pirámide aparecen multitud de máquinas de madera cuya estructura se reforzaría con elementos metálicos para soportar el peso de los bloques pétreos.
2. Hipótesis de Croon: teoría del chadoof o del elevador oscilante. En 1925, el ingeniero alemán Croon expuso su teoría de que las máquinas referidas por Herodoto debían ser similares al chadoof que en la zona, y desde tiempo inmemorial, se emplearon para extraer agua de los pozos. Se trataría de unas máquinas muy simples, basadas en el principio de la palanca.
3. Hipótesis de Lauer: teoría de los trineos de transporte. Inmediatamente a la propuesta de Croon, el arqueólogo Lauer expuso su teoría, hoy aceptada, de que para la construcción de las pirámides se construyeron rampas progresivamente a los avances de la propia obra y a sus necesidades. Lauer se basaba no sólo en la evidente imposibilidad de elevar los bloques pétreos de la pirámide con las máquinas que Croon planteaba (muchos bloque pesaban más de mil toneladas) sino también en la constancia de restos de arranques de rampas en diveros edificios de la cultura egipcia. Por ello, Lauer interpretaba que las máquinas referidas por Herodoto debían ser los trineos de madera sobre los cuales los egipcios colocaban las piedras y que eran arrastrados sobre rollizos de madera y un suelo lubrificado para así favorecer la tracción. De estos trineos ya existían referencias gráficas.

Teoría de la egiptología actual. Hipótesis de Davidovits de los encofrados para piedra artificial

Desde el II Congreso de Egiptología, celebrado en Grenoble (Francia) en 1979, algunos conocidos egiptólogos vienen especulando sobre la posibilidad de que en este pasaje, con la palabra griega *mechane* Herodoto refieriera los moldes necesarios para producir piedra artificial. Así, en Grenoble, el doctor Klemm, experto en Petrología, una vez analizadas

veinte muestras de la Gran Pirámide, avanzó que se trataba de piedra artificial basándose en que todas las muestras analizadas presentaban diferente consistencia, que a su vez difería de una zona a otra de una misma piedra, y en que las rocas de la pirámide contenían un porcentaje de humedad superior al de la piedra natural.

El libro *Las Pirámides, un enigma resuelto*, publicado en 1988 en Estados Unidos por importantes egiptólogos, insistía en esta cuestión. El dr. Joseph Davidovits y la dra. Margie Morris[23] exponían los resultados de los análisis químicos y microscópicos efectuados en las rocas de Gizeh y diversas fotografías en las que se podían apreciar la presencia de pelos, uñas, fibras téxtiles y burbujas de aire en la estructura de las rocas calizas de la Gran Pirámide, que datan de hace cincuenta millones de años, formadas durante el segundo período de la Era Terciaria.

Esta hipótesis ofrecía una nueva explicación a dos testimonios de época que ya eran conocidos. El primero, la Estela de Famine[24], en la cual, desde la columna 11 a la 18, Imhotep enumera las rocas y minerales de la región de Elefantina y en las 18 y 20 se describe el sueño de Zoser en el que el dios Khum da al rey una lista de minerales y productos químicos para fabricar bloques aglomerados con los que construir templos. El segundo de ellos, una de las escenas murales de la tumba de Rekhmara (Gurna, Luxor) en la que se representa una escena cotidiana del Antiguo Egipto, tradicionalmente considerada como la fabricación de adobes, y en la que varios obreros llevan sacos de un producto y lo arrojan en moldes que posteriormente fraguan haciendo ladrillos o, como Davidovits exponía, bloques de piedra artificial.

Sobre los gastos generados por la construcción de la pirámide

En el capítulo CXXV, el pasaje de las máquinas se continúa con este otro en el que se refiere la cantidad gastada en rábanos, cebollas y ajos para dar a comer a los trabajadores, ascendiendo, exactamente, a 1.600 talentos de plata:

> En la pirámide está anotado con letras egipcias cuánto se gastó en rábanos, en cebollas y en ajos para el consumo de peones y oficiales; y me acuerdo muy bien que al leérmelo el intérprete me dijo que la cuenta ascendía a 1.600 talentos de plata. Y si esto es así, ¿ a cuánto diremos que subiría el gasto de herramientas para trabajar, y de víveres y vestidos para los obreros, y más teniendo en cuenta no sólo el tiempo mencionado que gastaron en la fábrica de tales obras, sino también aquél, y a mi entender debió ser muy largo, que emplearían así en cortar la piedra como en abrir la excavación subterránea? (II, CXXV).

Las inscripciones a que se refieren las crónicas estuvieron realizadas sobre el revestimiento exterior, al que se aplicó un revoque de pintura a base de yeso, piedra molida y hematites rojas, que hizo a la pirámide tener un color anaranjado o rojo; sobre estas paredes pulimentadas, se inscribieron los caracteres y que, lamentablemente, no se han conservado, perdiéndose por efecto del mismo expolio que afectó al revestimiento.

El testimonio de Herodoto se considera ridículo y falta de coherencia, lo que no resulta extraño dado que el autor sería incapaz de leer los jeroglíficos[25]. Hay otra referencia, marcada en este caso por la consideración que durante siglos se tuvo de Keops como tirano:

> ...Viéndose ya falto de dinero, llegó Keops a tal extremo de avaricia y bajeza que, en público lupanar prostituyó a una hija, con orden de exigir en recompensa de su torpe y vil entrega cierta suma... pidiendo a sus amantes que le costearan una piedra para su edificio...

Sobre la estructura interior de la pirámide

Herodoto no llegó a entrar en la pirámide. Es por ello, que no ofrece información sobre su estructura interior; tan sólo mencionaba una cámara o recinto anegado por un canal derivado del río, que formaba una isleta donde, según se contaba, estaba enterrado el faraón[26]. El coronel Vyse, partiendo del testimonio de Herodoto, profundizó más allá de la cámara subterránea de la pirámide; de hecho, al oriente de esta sala, se abre un pozo cuadrado de 2 m. de lado, que originalmente no llegaba a los tres metros de profundidad y en el que el coronel profundizó más buscando la cámara referida por Herodoto.

Otras pirámides

En los capítulos CXXVII y CXXXIV, Herodoto incluye referencias a las pirámides de Kefrén y de Mi-

cerinos, respectivamente, si bien menos detaladas que la de Keops:

«Muerto Quéope después de un reinado de cincuenta años, según referían, dejó por sucesor de la corona a su hermano Quefrén, semejante a él en su conducta y gobierno. Una de las cosas en que pretendió imitar al difunto fue en querer levantar una pirámide, como en efecto levantó, pero no tal que llegase en su magnitud a la de su hermano, de lo que yo mismo me cercioré habiéndolas medido entrambas. Carece aquélla de edificios subterráneos, ni llega a ella el canal derivado del Nilo que alcanza a la de Quéope, y corriendo por un acueducto allí construido, forma y baña una isla, dentro de la cual dicen que yace este rey. Quefrén fabricó la parte inferior de su columna de mármol etiópico vareteado, si bien la dejó cuarenta pies más baja que la pirámide mayor de su hermano, vecina a la cual quiso que la suya se erigiera, hallándose ambas en un mismo cerro, que tendrá unos cien pies de elevación. Quefrén reinó cincuenta y seis años» (II, CXXVII).

«No dejó, sin embargo, Micerino de levantar su pirámide, menor que la de su padre, de más de veinte pies; la fábrica es cuadrada, de mármol etiópico hasta su mitad y de tres pletros en cada uno de sus lados» (II, CXXXIV).

En otros capítulos (CXXXVI) hay referencias a pirámides de adobe que hoy sabemos datamos en el Imperio Medio Egipcio[27] (II, CXXXVI).

Otras construcciones

A pesar de que la tipología de interés prioritario para Herodoto fue la pirámide, dedicó algunos pasajes a obras públicas (en concreto la ampliación que el etíope Sabacón hizo de la red de canales construida por Sesostris (II, CXXXVII) y los diques que este monaca levantó (II, CXL), *la capilla o nicho de Latona* (II, CLV), *los obeliscos* (II, CLXX), *los Propíleos de Amais en Sais (II, CLXXV),* aportando de esta última construcción datos numéricos sobre el transporte de los bloques, y en especial el laberinto, que supuestamente construyera Amenenhat III en el Imperio Medio, al que se refiere en el capítulo CXLVIII del Libro II (Euterpe)(II, CXLVIII), como un edificio de compleja distribución, que por su importancia y magnitud comparaba con los magníficos templos de Éfeso y Samos, ofreciendo de él una descripción muy similar a la de Estrabón (17,1,3-17,37,1-17,1,42). Diodoro de Sicilia (1,51,5-1,61,1-1,66,*2) y de Plinio el Viejo (36,19).*Según Herodoto:

«(Unos reyes de Egipto) Decidieron también dejar en común un monumento conmemorativo suyo y, una vez tomada esa decisión, ordenaron la construcción de un laberinto, que se halla algo al sur del lago Moréis, aproximadamente a la altura de la ciudad que se llama Cocodrilópolis; (...) Ya las pirámides eran, sin duda, superiores a toda ponderación y cada una de ellas equiparable a muchas y aún grandes obras, pero la verdad es que el laberinto supera incluso a las pirámides.

Tiene doce patios cubiertos, seis de ellos orientados hacia el Norte y los otros seis hacia el Sur, todos contiguos, cuyas puertas se abren unas frente a otras, y rodeados por un mismo muro exterior. Dentro hay una doble serie de estancias —unas subterráneas y otras en primer piso sobre las anteriores-, en número de tres mil; mil quinientas en cada nivel. Pues bien, nosotros personalmente pudimos ver y recorrer las estancias del primer piso y de ellas hablamos por nuestras propias observaciones; de las subterráneas, en cambio, tuvimos que informarnos verbalmente, pues los egipcios encargados de ellas no quisieron enseñárnoslas bajo ningún concepto, aduciendo que allí se encontraban los reyes que ordenaron el inicio de las obras de este laberinto y las de los cocodrilos sagrados (...) (Las salas de arriba) despertaban un desmedido asombro mientras se pasaba de un patio a las estancias, de las estancias a unos pórticos, de los pórticos a otras salas y de las estancias a otros patios. El techo de todas estas construcciones es de piedra, al igual que las paredes; éstas, por su parte, están llenas de figuras esculpidas y cada patio se halla rodeado de columnas de piedra blanca perfectamente ensamblada. Contigua al chaflán en que acaba el laberinto se encuentra una pirámide de cuarenta brazas, en la que aparecen esculpidas figuras de grandes dimensiones y hasta ella hay un camino subterráneo».

Desde el siglo pasado —en que se insiste en la búsqueda de estas ruinas— algunos arqueólogos han creído que el laberinto se emplazaba en las ruinas de Hawara excavadas por Sir. Flinders Petrie a finales de siglo, basándose entre otras cuestiones en la cer-

canía al lago Moréis que Herodoto mencionaba[28], situado en el oasis de El Fayum, en especial desde que entre 1842 y 1844 Richard Lepsius (el primero en hacerlo) identificara la pirámide de Amenemhat III, de la XII dinastía (ca. 1800 a.C.) construida en adobe y que se encuentra junto a las referidas ruinas. Sin embargo, actualmente, muchos investigadores cuestionan esta consideración, pues algunos opinan que todo fue una invención de Herodoto, mientras otros, como Ares, se inclinan por pensar que las ruinas de Hawara no pertenecen al verdadero laberinto. De hecho, consideran que el plano del monumento obtenido por Flinders Petrie, en el que se representaban una serie de habitaciones de tamaño variado adosadas de tres en tres o de seis en seis precedidas de pórticos columnados carecía de la laberíntica estructura referida por Herodoto, quien hacía especial hincapié en que ce especial hincapié en que era imposible que un hombre no acostumbrado a recorrerlo pudiera salir del edificio sin la ayuda de un guía. Además de que no coinciden las dimensiones del edificio funerario aportadas por los viajeros clásicos con las de la pirámide de Amenenhat (según Herodoto, de 70 m. cuando en realidad no supera los 58 m. de altura, y según Estrabón 118 m. de lado cuando no supera los 100 m.), ni siquiera las del monumento descrito (según Herodoto comparable a las pirámides) con la de las ruinas de Hawara (200 x 170 m.), parece imposible que un edificio de adobe pudiera soportar las colosales figuras esculpidas que refiere Herodoto, de las que tampoco se han hallado restos, más que pequeños cocodrilos realizados en relieve sobre algunas piedras de dudosa función. Además, el edificio excavado por Patrie es de un solo piso, no apareciendo el subterráneo referido por Herodoto ni los enterramientos.

Notas

1. La primera denominación obedece a una arbitraria división en libros, realizada por un escritor alejandrino (s.III-II a.C).
2. Se utiliza un término empleado por Herodoto en el proemio, *iotorih*, traducible como «investigación», «encuesta», indagación» o «inquisición».
3. Sin embargo, según Aristóteles en su *Retórica*, y posteriormente Plutarco, nació en Turios, al Sur de Italia.
4. Herodoto llama «loggoi» a las partes de la narración, dedicando cada una de ellas a un pueblo. Algunos autores opinan que los loggoi asirios fueron suprimidos; otros que nunca existieron porque no encajaron en la estructura del conjunto.
5. Herodoto plantea también la posibilidad de que esta desecación no se hubiera llegado a realizar y que las tropas hubieran cruzado el río por los numerosos puentes que lo atravesaban.
6. Herodoto: *Los Nueve Libros de la Historia*. (Trad. De P. Bartolomé Pou). Ed. Edaf. Madrid, 1996.
7. En páginas precedentes, Herodoto incluye una referencia a un supuesto acueducto mandado construir por un rey de Arabia, que contaba con tres canales (cada uno de ellos para abastecer a una población diferente), que llevaba el agua del río Corys, que desembocaba al mar de Eritreo, realizado con pieles crudas de bueyes y otros animales (III, IX).
8. Hoy sabemos que el rey asirio Senaquerib (705-681 a.C.) hijo de Sargón construyó uno años antes, en el 691 a.C. para franquear el ancho valle del Yerwan y que llevaba el agua desde la presa del río Khors, cerca de Bavián, hasta Nínive, la capital que estaba situada a 80 km. al SE, para así regar sus campos y jardines. Constaba de un tramo de *arcuationes* de 300 m. de largo y 12 m. de anchura, sostenido por cinco arcos, en el cual se calcula que se emplearon más de dos millones de bloques con un módulo medio de 50 x 50 x 65 m. (GRACIANI GARCÍA, Amparo: *Mesopotamia. Consideraciones generales para un estudio de la construcción*, Sevilla, 1992).
9. Herodoto, V, XVI, p. 417.
10. Los autores posteriores abusarán de la paráfrasis y el adorno de las referencias previas. Así, Harpocrición de Alejandría hacia el 335 d.C. contará en su viaje a Babilonia el comentario que le hizo un viejo sirio ante las ruinas de una ciudad mesopotámica: «...ha sido construida por gigantes que querían escalar el cielo. Por esa irreverencia loca, unos fueron heridos por un rayo; otros por orden de dios, en lo sucesivo no se reconocerán mutuamente; el resto fue a caer a la isla de Creta, a donde, en su colera los precipitó dios» (PARROT, André: *La Torre de Babel*. Ed. Garriga. Barcelona, 1962, pp. 17-18).
11. Plinio: *Historia Natural*, libro III, 7.2-13.
12. PITARCH, José et alt: *Arte Antiguo. Próximo Oriente. Grecia y Roma*. Col. Fuentes y Documentos para la Historia del Arte, vol. I. Gustavo Gili. Barcelona, 1982, pp. 59-60).

Así, se expresaba este último: «Aunque las vistas de Babilonia son muchas y singulares, no es la menos maravillosa la enorme cantidad de betún que produce el país; tan grande es la reserva de éste, que no solamente basta para sus edificios, que son numerosos y grandes, sino que para la gente común también, reuniéndose en el lugar, la utilizan sin ningún tipo de restricción y secándola

la queman en lugar de combustible. Pese a la gran cantidad de hombres que la utilizan, la cantidad permanece sin disminuir, como si procediese de varias inmensas fuentes. Además, cerca de estas fuentes hay un agujero respiradero de no gran tamaño, pero remarcable porque emite un vapor muy denso y sulfuroso que trae la muerte a toda criatura viviente que se le acerca, y se encuentra con un final rápido y extraño...».

13. DAVEY, Norman: *Enciclopedia de la Construcción*, p. 177.
14. Según el autor: «Babilonia produce grandes cantidades de asfalto, de acuerdo con lo que Eratóstenes manifiesta, que la especie líquida, llamada napha, se halla en Susa (Irán), pero la seca, que puede ser solidificada, en Babilonia. Hay una fuente de este mismo asfalto cerca del Eúfrates (en Hit), y cuando este río se encuentra en su crecida, en la época de la fusión de las nieves, la fuente de asfalto es colmada y desborda en el río, y los grandes coágulos que se forman son adecuados para las construcciones de ladrillos cocidos. Otros escritores dicen que la especie líquida se encuentra también en Babilonia. Confirman en particular la gran cantidad de la clase seca en la construcción de los edificios, pero también dicen que las embarcaciones tejidas con cañas y revocadas con asfalto son impermeables al agua» (Cfr. DAVEY, Norman: *ut supra*).
15. Pitarch et alt.: *op. cit.*, p. 58.
16. «Entonces, desviando el curso del río hacia el Este, construyó debajo de tierra un pasaje que iba de un palacio a otro; haciéndolo de ladrillo cocido, cubrió las cámaras abovedadas de ambos lados con betún caliente hasta que tuvieron un grosor de cuatro codos. Los muros laterales de este pasaje eran de veinte ladrillos de ancho y de doce pies de alto, excluyendo la bóveda de cañón, y la anchura del pasaje era de quince pies. Cuando esta construcción se hubo terminado, en sólo siete días, permitió al río volver atrás, a su antiguo cauce y así, pasando la corriente sobre este pasaje, Seramis podía ir de un palacio a otro sin pasar por el río. A cada extremo del pasaje había puesto puertas de bronce que permanecieron en el tiempo hasta la dominación persa» (Pitarch et alt.: *ut supra*, p. 67).
17. Pitarch et alt.: *op. cit.*, p. 67.
18. Pitarch et alt.: ut supra, pp. 53-60.
19. También por referencias conocemos las visitas de algunos sabios, como es el caso de Tales de Mileto, el padre de la geometría griega, quien la visitó durante el siglo VI a.C.
20. Delgado, José Manuel: *Las claves de la gran pirámide*. Col. Año Cero, Madrid, 2000, p. 15.

Según Estrabón, a cierto nivel, sobre uno de los lados de la pirámide, existía una piedra que podía retirarse y que, una vez removida, dejaba ver la entrada de una galería o siringa, que conducía a la tumba. Dicho pasaje era angosto y bajo, de menos de 1,20 m. por 1,20 m. y descendía a lo largo de 114 metros hasta una charca infestada de sabandijas, excavada en la roca viva, de 46 m. bajo la pirámide.

21. Delgado, M.: *Op. cit.*, p. 65.
22. Aunque actualmente se conservan pocos bloques de revestimiento, (los que se conservan se encuentran en la cara norte) hoy se estima que en origen el monumento tuvo 27.000 bloques, perfectamente encajados y pulidos.
23. El dr. Joseph Davidovits, nombrado por el presidente de Francia Caballero de la Orden Nacional de Mérito, fundador del Instituto Geopolimérico de París, es profesor de la Universidad de Toronto y director del Instituto de Ciencias Arqueológicas Aplicadas de la Universidad de Barry, en Florida. La doctora Margie Morris trabaja en la Universidad de Minnosota.
24. La Estela de Famine, descubierta en 1889 por el egiptólogo Charles Wilbour y terminada de descifrar por el arqueólogo francés Barquet en 1935, consta de 2.600 jeroglíficos dispuestos en 32 columnas, data de época ptolomaica (300 a.C.) aunque se considera debe ser copia de documentos más antiguos ya que se refieren a personajes de la III Dinastía. Entre las columnas 6 y 22 se habla sobre métodos constructivos.
25. Delgado, Manuel José: *op. cit.*, p.12.
26. *Ut supra*, pp. 19-20.
27. Herodoto, Libro II, CXXXVI, p. 210....Asiquis, que mandó hacer los propíleos del templo de Vulcano que dan a Levante, y que son en realidad de cuantos hay en el edificio los más bellos y los más grandes con notable exceso, pues aunque los demás propíleos son todos obras llenas de figuras esculpidas... Cuentan del mismo rey que, codicioso de superar las glorias de cuantos habían antes reinado en Egipto, dejó su monumento público en una pirámide hecha de ladrillo. Hay en ella una inscripción grabada en mármol que hace hablar a la misma pirámide en estos términos: « No me humilles comparándome a las pirámides de mármol a las que excedo tanto como Júpiter a los demás dioses; pues dando en el suelo de la laguna con un chuzo, y recogido el barro a él pegado, con este barro formaban mis ladrillos, y así fue como me construyeron. « Esto es en suma cuanto hizo aquel rey» .
28. «...la laguna que llaman Meris, cerca de la cual aquél se edificó. Cuenta la laguna de circunferencia 3.000 estadios, medida que corresponde a 60 schenos, los mismos cabalmente que tienen de longitud las costas marítimas de Egipto; corre a lo largo de Norte a Mediodía, y tiene 50 orgias de fondo en su mayor profundidad. Por sí misma declara que es obra de manos y artificial. En el centro de ella, a corta diferencia, vense dos pirámides que se elevan sobre la flor del agua 50 orgias, y abajo tienen otras tantas de cimiento, y encima de cada una se ve un

coloso de mármol sentado en su trono: aunque ambas pirámides vienen a tener 100 orgias, que forman cabalmente un estadio hexápletro o de 600 pies... la tierra que iban extrayendo la llevaban al Nilo, el cual, recibiéndola en su corriente, no podía menos de arrastrarla en ella e irla disipando» (Herodoto, Libro II, CXLIX, p. 218).

Hacia el nacimiento de la Historia de la Construcción. Origen y devenir de una Ciencia

Amparo Graciani García

Resulta evidente que la Construcción es el soporte físico de la Arquitectura, incluso que la Construcción crea unos límites y unas exigencias, aunque razonables, al proyecto e incide creativamente en él, aportando un inagotable repertorio de sugerencias formales; sin embargo, la relación entre ambos conceptos, *Arquitectura* y *Construcción*, no siempre ha estado lo suficientemente reconocida. Es ésta una de las muchas dificultades que se encuentran los Historiadores de la Construcción, y la razón de que, en ocasiones, quienes pretendan acometer estudios sobre el tema, en realidad lo hagan sobre Historia de la Arquitectura.

La Historia de la Construcción no ha de consistir en un estudio de las formas arquitectónicas ni de la creatividad en el diseño edificatorio sino de las soluciones constructivas del pasado, sin que, por cierto, falten las alusiones a la Historia de la Arquitectura. La Historia de la Construcción debe centrarse en la solución edificatoria y, por tanto, en un análisis de la Tecnología, sin olvidar otros factores interdisciplinares de evidente interés (históricos, científicos, económicos, sociales, materiales...), en unos casos objetivos, pero en otros puramente subjetivos o abstractos ya que a lo largo de la Historia de la Construcción ha existido siempre una interrelación entre parámetros abstractos, como el contexto, el tiempo, la función del edificio, el estilo, ... y factores objetivos como los materiales de construcción (su disponibilidad y adecuación), el clima (ya que las condiciones climáticas establecen exigencias muy específicas) y la economía.

En ocasiones, la razón de recurrir a una u otra solución obedecerá simplemente a una cuestión de tipo histórico, a veces por influencias culturales. Además, en muchos casos los antecedentes explicarán el peso de la tradición. A ello hay que añadir que en sociedades tradicionales, aún continúan empleándose métodos de remoto origen.

Además, habrá que considerar no sólo los materiales de construcción sino los medios disponibles (herramientas, maquinarias y medios auxiliares y medios gráficos), lo que nos permitirá comprender el por qué de cada una de las diferentes soluciones constructivas. El uso que a lo largo de la Historia se ha dado a los materiales de construcción estará relacionado con tres factores fundamentales: disponibilidad, idoneidad y coste. Así, podemos afirmar que en las sociedades preindustriales, existía una relación causa-efecto entre la disponibilidad de materiales naturales (como la piedra de cantera o el ladrillo producido por el barro local), la elección del estilo, la escala de la construcción y el desarrollo de distintas tecnologías. Tras el siglo XIX, entran en juego otros factores como el desarrollo y la internacionalización de la técnica. Hoy en día, la disponibilidad de material depende del coste, que —a su vez— está en función del de extracción, transporte y otros como la demanda o calidad. De este modo, hoy la disponibilidad resulta de las circunstancias del mercado. No obstante hay zonas donde aún subsisten las técnicas tradicionales.

También han de analizarse las propiedades físicas de los materiales, cuyo uso estará estrechamente re-

lacionado con ella tipología edilicia así como con las características geológicas del medio físico natural.

A los factores histórico y material habrá que añadir el humano, es decir, habrá que analizar no sólo quiénes fueron los individuos que intervinieron el proceso constructivo (mano de obra, productor, gestor y proyectista) sino los condicionantes que una sociedad impone (legales, gustos,..). Ejemplo del interés y la necesidad de considerar este factor social es, entre otros, el que sin la estructura de poder faraónico en Egipto, hubiera sido inconcebible la construcción de las pirámides, o, en líneas generales, cómo antes de la Revolución Industrial, cuando el coste de la mano de obra era mínimo, los sistemas de edificación basados en la explotación masiva se vieron favorecidos, mientras, por el contrario, el elevado coste actual de la mano de obra en los países desarrollados encarece hoy en día el resultado final.

Fundamental es el análisis tecnológico que implica considerar el procedimiento constructivo, los elementos (sistemas de soporte y cubierta), las soluciones en las estructuras de la edificación, los sistemas de cimentación y los métodos de rehabilitación, entre otras cuestiones. Aunque, lógicamente, este factor será el centro y objeto fundamental la Historia de la Construcción no puede limitarse a estudiar tales soluciones constructivas; apoyándonos en nuestro convencimiento de que las formas básicas están estrechamente relacionadas con los materiales y la sociedad, consideramos hay que tener en cuenta los restantes aspectos, factores sin duda determinantes de la Historia de la Construcción.

Así mismo, habría que aportar unas referencias de carácter científico, a los conocimientos que en cada época se tenían de Geometría Descriptiva, Física, ... y otras ciencias auxiliares de la construcción. El plantear, brevemente, cuáles fueron los conocimientos de Geomería Descriptiva se hace necesario en algunos temas, como por ejemplo, en los referentes a cantería. Los aspectos físicos habrán de ser considerados porque se comentarán las distintas soluciones constructivas habituales en cada cultura, en general, y en los principales edificios en particular para solucionar los sistemas de fuerzas de éstos y los movimientos diferenciales a que están sujetos, así como sus causas.

Incluso habrán de estudiarse los condicionantes abstractos que en el pasado influyeron en los diferentes momentos del el proceso constructivo, por ejemplo, en la selección de materiales (aparte de las puramente objetivas), en la finalidad, monumentalidad y grandeza de los edificios, en la disponibilidad de mano de obra motivada por las relaciones y dependencias sociales, etc... La selección de materiales tiene a veces unas connotaciones abstractas ya que, en algunas ocasiones, los materiales son portavoces de significados concretos a través del uso que se ha hecho de ellos. Así, por ejemplo, el calor y escala del ladrillo lo han convertido en sinónimo de la arquitectura doméstica y familiar, mientras, por el contrario, la piedra se ha preferido en el material preferido para edificios institucionales. Aunque remoto, puede resultar significativo el caso egipcio, pues en esta cultura se realizaron en adobes las viviendas populares y las tumbas ordinarias, cuando, por el contrario, para las construcciones funerarias de los faraones (pirámides, speos y hemiespeos) y de los nobles (mastabas). Tengamos en cuenta que los edificios, al delimitar y definir el espacio, reflejan el espíritu y el gusto de la sociedad de su tiempo, mejor que ninguna otra forma de expresión artística. Manifiestan su significado a través de los materiales con que fueron construídos y por el uso o función para el que fueron levantados.

Partiendo de estas nociones genéricas, quisiéramos ofrecer en este trabajo una breve evolución diacrónica de la Historia de la Construcción, y las etapas que, según sus bases y fundamentos, se podrían establecer en este proceso, cuyos precedentes podrían remontarse a la Antigüedad, si bien hasta el siglo XIX ésta no adquiriría su carácter científico. En ningún caso se pretende incluir exhaustivas referencias bibliográficas en tan limitadas notas. La exposición de los enfoques actuales y los organismos o instituciones que trabajan en estas líneas de investigación nos invitará a reflexionar acerca de la diversidad de planteamientos y perspectivas posibles, así como cuáles son las diferentes fuentes de información al respecto.

HACIA EL NACIMIENTO DE LA HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN

El concepto de la Historia de la Construcción es bastante tardío. Aunque a lo largo de la Historia no han faltado continuas miradas hacia los sistemas constructivos de otros pueblos y reflexiones sobre sus características y particularidades, las primeras aproxi-

maciones que lo plantean como una sucesión de hechos encardinados y buscando su fundamento más allá de la pura fantasía o de la mitología y de las noticias aportadas por la tradición no surgen hasta el siglo XIX. Por ello, podemos afirmar que el proceso de nacimiento y desarrollo de la Ciencia de la Historia de la Construcción ha sido lento y progresivo, pudiéndose establecer en él cuatro momentos o etapas claramente definidas.

Primera etapa: los remotos precedentes

A esta etapa corresponderían las referencias de autores que desde la Antigüedad clásica hasta el siglo XVIII aportaron sobre aspectos constructivos contemporáneos al momento que les había tocado vivir o anteriores a ellos. Así, entre las más tempranas referencias al pasado señalaremos las de Herodoto de Halicarnaso, Plinio o el tratadista Vitruvio. En el siglo V a.C. entre otras cuestiones, Herodoto, en su descripción del mundo conocido por él a través de sus viajes (*Los nueve libros de la Historia*), describe sistemas constructivos que le antecedieron en el tiempo, comentando por ejemplo cómo se habían construido las pirámides de Egipto. Plinio, en su *Historia Natural* (XXXV, 109), en el siglo I a.C. aludía al primer encofrado de la Historia que empleaban los íberos en la Península Ibérica y que denominaba *molde parietes* (paredes de molde). El propio Vitruvio, cuando en su *obra Los Diez Libros de Arquitectura explicaba*, entre otras cosas los procedimientos de construcción romana, hacía alusiones a métodos de sus predecesores los etruscos.

Si bien excepcionalmente, como en el caso vitruviano y en otros tratadistas posteriores, se fundamenta en la observación, lo habitual era su apoyo mitológico o sobrenatural, basado por lo común en la tradición oral más que en la constatación de hechos pasados. Es ésta una constante de la Antigüedad e incluso de la Edad Media. Estos fundamentos fantásticos, existieron ya de antiguo, en plena época clásica, en autores como el ya referido Herodoto o Pausanias. Herodoto, que en su obra en ningún caso pretendía justificar los procedimientos empleados en las construcciones que él encontraba en sus viajes por el mundo conocido en la época que le correspondió vivir carecía de nociones constructivas, exponiendo planteamientos hoy fácilmente criticables (como los referidos a las pirámides de Gizeh), que partían de la tradición oral, a la que tiene que recurrir, no sólo por su ignorancia sino además por la lejanía en el tiempo desde su construcción, hacia el 2.400 a.C. hasta su propia época. Los griegos, según indica Pausanias (libro X, cap. XV, 8) explicaban las murallas de la ciudad de Micenas, construidas mediante grandes bloques de piedra, apenas tallados, como realizadas por los cíclopes, gigantes de la mitología griega, con un sólo ojo en su frente y que, en opinión del autor, podrían transportar lo que era imposible para los bueyes. Es ésta la explicación que los griegos daban al aparejo ciclópeo tan utilizado por la cultura micénica o heládica. También en la Edad Media, poco o nada se cuestionaba sobre métodos constructivos, lo que no resulta extraño en una época en la que las creencias religiosas resultaban tan determinantes que, por ejemplo, las pirámides de Egipto se consideraban los graneros de José.

En el Renacimiento, el hombre se hace mucho más antropocéntrico y se acerca a la realidad de las cosas, intentando recabar su fundamento. Es por ello que, durante este período, se acentúa el gusto por la Antigüedad y se generan apasionadas investigaciones en torno a lo antiguo por parte de tratadistas como León Bautista Alberti, Palladio y Vignola., quienes, eludiendo los fundamentos fantásticos y basándose en la observación, siguieron los posicionamientos vitruvianos. Bien es cierto que mientras en *Los Diez Libros de Arquitectura*, Vitruvio, quizás por el carácter pragmático de su cultura, establece una perfecta integración los conceptos *Arquitectura* y *Construcción*, indicando que el edificio debía de ser «firme, útil y bello», al tener *firmitas, utilitas* y *venustas.* Aunque la huella y el legado de Vitruvio fueron determinantes durante el Renacimiento e incluso perdurará hasta que a finales del XVIII empiecen a gestarse importantes cambios, el tratadista italiano J. B. Alberti, con su obra *Re Aedificatoria,* planteará ya evidentes avances. Alberti, en su *Re Aedificatoria,* con un planteamiento renacentista y más antropocéntrico, hablaba, en vez de una *firmitas,* de una *necesitas,* que satisface el nivel de las necesidades elementales y básicas del hombre, no sólo el de la firmeza de la edificación.

En cualquier caso, paralelamente a la proliferación de la tratadística, la fantasía perduró en el tiempo. Así, hasta el siglo XIX se otorgaba un carácter sobrenatural a las construcciones megalíticas; las únicas

explicaciones existentes eran las que había despertado la imaginación popular; sin duda, entre ellas, las más curiosas serían las de Holanda, Cerdeña y el Cáucaso. En Holanda se hablaba de las tumbas de los Gigantes, mientras que en Cerdeña, se tenían las construcciones megalíticas como casas de las hadas. En el Cáucaso se las consideraba obras de gigantes que llegaron a la zona para ayudar a los enanos a construir sus casas. En estas regiones, se creía que, en ciertos días del año, dólmenes y menhires paseaban por las orillas del río, dándoles nombres tan significativos como "piedra que gira", "piedra loca", etc.

Las novedades dieciochescas

Aunque ya se apuntara con Alberti, en su *Re Aedificatoria,* a partir del siglo XVII, los autores empiezan a aceptar la desvinculación entre la técnica constructiva y el proceso de proyecto. Mientras unos restringen su interés a los conceptos de *belleza* y *diseño* (de Vignola, F. Blondel e incluso la misma actitud de la propia Academia Francesa), otros se interesan por la técnica, una «parcialización tecnológica», que se vió impulsada por la fundación en Francia de las Academias de Ciencias (1671) del *Corps de Genie Civil* (1672) y posteriormente de las escuelas de *Ponts el Chaussées* (1747) y *Polytechnique* (1795).

El siglo XVIII experimentó en el ámbito cultura una clara preocupación por la Historia, de claros fundamentos Kantianos y Hegelianos, planteándose como una correlación de hechos vinculados entre sí por el principio de causa-efecto. Esta preocupación por la Historia, se manifiesta entre otras cuestiones en el interés de cada país el interés por las antigüedades propias, que generó estudios durante los siglos XVIII y XIX (*Roma subterránea* (Bosio, 1632), sobre los mosaicos (Ciampini, 1690), o la enciclopédica obra de Juan Agustín Ceán Bermúdez, 1832). Una preocupación incrementada por la atracción que despiertan los importantes hallazgos arqueológicos que se producirán en este siglo (Herculano, 1711; Pompeya, 1748), que resultarán decisivos para el conocimiento de las técnicas de construcción antiguas y el consiguiente desarrollo de estos estudios en la siguiente centuria.

En este contexto, se puede comprender el gran aporte del siglo XVIII al nacimiento de la Historia de la Construcción, ya que algunos autores que comienzan a exponer sus propios planteamientos, entonces novedosos (si bien hoy plenamente aceptados), sobre la evolución histórica y sobre el desarrollo del arte a lo largo de la Historia. Aunque no nace la Historia de la Construcción, se fijan las bases de la moderna Historia del Arte, fundada por el prusiano Johann Joachim Winckelmann (1717-1768), cuyo pensamiento arquitectónico, muy difundido entre la élite europea durante el siglo XVIII se recogía en *Observaciones sobre la Arquitectura de los Antiguos* (1762), *Monumentos inéditos de la Antigüedad, explicados e ilustrados (1767)* y sobre todo su *Historia del Arte en la Antigüedad (1764),* en la que, por vez primera, la observación directa de las obras de arte concluía con una clasificación estilística, descubriendo la Historia de los Monumentos como la Historia de la Civilización.

El interés del nacimiento de la Ciencia de la Historia del Arte como eslabón de partida para el arranque de la Historia de la Construcción, estriba en dos cuestiones. De una parte, establece el marco de los estilos artísticos en general y arquitectónicos en particular, que será seguido por los primeros autores interesados en la Historia de la Construcción, que como Viollet le Duc o Choisy comiencen a aportar datos sobre técnicas constructivas del pasado y a exponer la relación entre los fundamentos estéticos de cada período y los procedimientos técnicos seguidos. En segundo lugar, el nacimiento de la Historia del Arte y de la Arquitectura contribuyó a fomentar el afán restaurador, lo que así mismo impulsó el desarrollo de la Historia de la Construcción, que para dotarse de contenido exigía en muchos casos de un reconocimiento del interior de los propios edificios que sólo la práctica restauradora permitía.

En líneas generales, podría decirse que en este siglo en que se realizaba un primer intento de acercamiento a la realidad, cuando la Historia no había aún alcanzado su esplendor como Ciencia, muchas consideraciones sobre la Historia de la Construcción resultaban bien erróneas, como la idea, tan difundida en este siglo de que los megalitos franceses habían sido realizados por los galos.

Los inicios decimonónicos

Las primeras aproximaciones de mayor fundamento no aparecen hasta el siglo XIX, pues a pesar de que

las obras de autores clásicos como Vitruvio y otros tratadistas son una fuente básica para realizar un análisis histórico de las técnicas constructivas de las correspondientes épocas, podemos afirmar que hasta el siglo XIX no surge un interés por relatar, con un carácter más o menos científico, los procedimientos edificatorios del pasado. Esto fue lo que determinó que para el conocimiento de las técnicas constructivas de la Historia fuera fundamental el de las interpretaciones de la tratadística decimonónica, frecuentemente ilustradas con láminas grabadas. Entre ellos, cabe señalar las figuras de Choisy o Viollet le Duc.

En cualquier caso, los puntos de vista de esos análisis dependerán del período histórico a considerar; por ejemplo, cuando se trate de analizar los procedimientos constructivos medievales, se realizará una historia romántica de la construcción, con un tratamiento minucioso y detallista, mientras que al estudiar el Renacimiento, el autor se distanciará del objeto construido, analizándolo desde una perspectiva puramente compositiva. Por todo ello, cabe decir que, pese a su interés, las aportaciones de los estudiosos decimonónicos, presentan dos graves problemas: un tratamiento desigual del hecho constructivo en cuanto a su minuciosidad y una preferencia hacia temas medievales, con el consiguiente abandono, interés u olvido de ciertos períodos de la Historia de la Construcción. Por tanto, una conclusión que erróneamente estos tratados del siglo XIX podían inducirnos a pensar es que, a partir de esta época, los procesos constructivos no se vieron enriquecidos y que para que se produzcan nuevos avances habrá que esperar a la aparición de la llamada *Arquitectura del Hierro*.

Pero para la Historia de la Construcción, el siglo XIX no es sólo fundamental por surgir entonces su propio concepto, sino por que durante este siglo se publican, por primera vez, tratados exclusivamente técnicos sobre construcción, siendo pionera la obra *Art de Batir* de Rondelet (1802). Aparecen con ellos unas fuentes fundamentales para la realización de una Historia de la Construcción, de las cuales se carecía hasta la fecha, pues en los tratados anteriores se habían entremezclado los conceptos arquitectónicos con los puramente constructivos. Sin embargo, a partir de aquellos autores del siglo XIX que la hicieron nacer, se observa cómo los estudios de Historia de la Construcción sufrieron un paulatino abandono, ya que, desde entonces los intentos de penetrar en las técnicas constructivas de los que nos precedieron han sido, aunque no despreciables, en cierto modo, fragmentados y escasos; a estas dos circunstancias, habría que añadir el hecho de que, en realidad, se limitaban a constatar obras y a hacer hincapié en su interés constructivo, sin interesarse por el *modus operandi* que las posibilitó. De esta forma, habrá que esperar a recientes trabajos al respecto para encontrar aportaciones de verdadero interés.

Las nuevas perspectivas del siglo XX

El siglo XX motivó la aparición de nuevas perspectivas y una nueva visión de la Historia de la Construcción. Así, en este siglo se producen diversos fenómenos que podríamos concretar en los siguientes puntos:

1. *Novedades temáticas,* en tanto aparece un interés por el análisis constructivo de épocas antes olvidadas;
2. *Novedades conceptuales* ya que se evidencia una relativa proliferación de los estudios sobre el tema, concibiéndola como una parte concreta de la Historia de la Tecnología, o como una línea de investigación para otras disciplinas auxiliares;
3. *Novedades en las fuentes* dado que se observa una lógica tendencia a recurrir a fuentes directas, y;
4. *Novedades académicas,* pues se ha producido proceso de incorporación de la Historia de la Construcción como disciplina académica.

1. Las novedades temáticas
El interés por el análisis constructivo de épocas antes olvidadas.

Con el nuevo siglo, comienzan a incentivarse los estudios de períodos, culturas y civilizaciones hasta el momento ignorados o de los que se ofrecía una visión errónea y desprovista de un carácter científico. Así por ejemplo, sucede con los referentes a la construcción prehistórica, lo que, en este caso resulta lógico porque habrá que esperar al desarrollo de la Prehistoria como Ciencia. Esta incorporación tardía será la causa de un retraso en la veracidad del análisis de estas épocas, pues siguen realizándose estudios aun conjeturales, en la línea de los existentes con an-

terioridad. Pensemos, por ejemplo, que cuando en 1911, Elliot Smith escribió su obra *The Ancient Egyptians,* el autor interpretaba como egipcios los monumentos megalíticos del Norte de Europa.

Otro caso significativo, este en el ámbito español, es el mudéjar, estilo que constituye una manifestación netamente hispánica aunque con algunas proyecciones en el Mediterráneo e Hispanoamérica. Hay que esperar al último tercio del siglo pasado para encontrar los primeros estudios sobre el tema; en cualquier caso, en estos inicios las interpretaciones no son del todo acertadas, pues se plantea como consecuencia de los sistemas de construcción islámica y no como un estilo peculiar y diferente. La revalorización de la época es tardía pues no se produce hasta los años setenta, a partir de los cuales hay una corriente de defensa de este estilo, que ha originado una ingente cantidad de publicaciones al respecto. El auge de los estudios sobre el Mudejarismo ha venido propulsado desde que en 1975 se iniciaran los Congresos Internacionales de Mudejarismo, que se celebran en Teruel cada tres años, y están dedicados a las diversas manifestaciones de esta cultura. En cuanto a construcción se refiere, han aparecido muchas publicaciones sobre carpintería y cerámica, que son dos técnicas muy características de esta cultura. Así, cabe destacar los estudios de Enrique Nuere Matauco sobre carpintería de lo blanco, especialmente realizados a partir del análisis del manuscrito de Diego López de Arenas *(Tratado de carpintería a lo blanco).*

2. Las novedades conceptuales
La proliferación de los estudios de Historia de la Construcción. Nuevos enfoques: análisis tecnológicos y estructurales y otros. Causas y consecuencias.

Como ya hemos indicado, de un lado, y especialmente a partir de la Segunda Guerra Mundial, se fomentan las investigaciones de Historia de la Construcción. Este desarrollo es consecuencia, fundamentalmente, de la búsqueda de nuevas aplicaciones y de líneas de investigación en otros campos para disciplinas que ahora se convertirán, de algún modo, en auxiliares de la Historia de la Construcción (la química, la ingeniería, la petrología,...), así como del auge que ha experimentado en estos últimos tiempos la Historia de la Tecnología.

Sin embargo, es raro encontrar estudios globales. Existen algunas sociedades fundadas con este fin; entre ellas, cabe destacar la Sociedad de Historia de la Construcción *(Construction History Society),* una entidad de carácter internacional, con sede en Gran Bretaña y perteneciente al *Chartered Institute of Building.* Esta sociedad viene editando, anualmente, desde 1985, una revista, denominada *Construction History,* que está dedicada a cualquier aspecto vinculado a la Historia de la Arquitectura y la Construcción y al desarrollo de la Historia de la Construcción como una disciplina académica. Se trata de la única revista periódica en lengua inglesa sobre el tema.

Pero, como ya hemos indicado, y al margen de esos escasos intentos globalizadores, lo habitual es que se trate de estudios parciales; por ser una materia que se presta bastante a la multidisciplinariedad, las investigaciones son de muy diversa procedencia y con muy diferentes enfoques. Por ejemplo, algunos científicos del campo de la petrología se han dedicado a analizar las características de la piedra como material de construcción empleados en edificios antiguos; los ingenieros a analizar el comportamiento estructural de éstos; los arquitectos a considerar cuál es la relación existente entre Arquitectura y Construcción, algunos técnicos a investigar los medios con que contaban los constructores, al incluir la Historia de la Construcción como una parte de la Historia de la Tecnología,... Es decir, lógicamente, su enfoque depende de la procedencia del autor del estudio. Aún no existen grandes obras de conjunto, pero no cabe duda de que, aunque en diversas líneas, se están produciendo importantes avances que algún día podrán aunarse en una empresa común. Como ya hemos indicado, en realidad, se trataría de un proceso de aplicación de diferentes disciplinas auxiliares en pro de un desarrollo de los conocimientos sobre la Historia de la Construcción. Es ésta precisamente la novedad que el siglo XX viene aportando.

La Historia de la Construcción en la Historia de la Tecnología

Entre todos ellos, predominan los estudios en los que la Historia de la Construcción se analiza como parte de la Historia de la Tecnología. Así, suelen aparecer referencias muy interesantes en obras dedicadas a este tema. Quizás, una de las más completas y de fácil acceso y manejo sea la publicada por Gustavo

Gili, editada por Melvin Kanzberg y Carroll W. Puersell, Jr. (*Historia de la Tecnología. La técnica en Occidente*. de la Prehistoria a 1900, Barcelona, 1981).

Además, este auge de la *Historia de la Tecnología,* ha propulsado la aparición en diferentes Universidades de disciplinas vinculadas a la Historia de la Ciencia y la Tecnología, incluso con especialidades temporales (por ejemplo, en las Universidades de Amsterdam, Copenhague,... o en el *Imperial College of Science and Technology* de la Universidad de Londres); la creación de bibliotecas especializadas en Historia de la Ciencia y de la Tecnología (como por ejemplo, la perteneciente a la Burndy Corporation —*Biblioteca Burndy*—), museos (como el Museo de Historia y Tecnología de la Smithsonian Institution), publicaciones al respecto, muchas de ellas por parte de instituciones específicamente dedicadas a ello, como la *Smithsonian Institution o* el ya referido *Imperial College of Science and Technology* de la Universidad de Londres, a los cuales se puede acudir en búsqueda de datos de interés. Por ejemplo, la *Smithonian Institution* publica la revista *American Quaterly,* dependiente del *Departamento de Civilización americana* de la Universidad de Pensylvania. El *Imperial College of Science and Technology* de la Universidad de Londres ha publicado cinco volúmenes sobre Historia de la Tecnología *(A History of Technology)* que constituye una de las obras más completas al respecto. Incluso se han realizado recopilaciones bibliográficas muy interesantes sobre la *Historia de la Tecnología* en las que, lógicamente, se incluyen textos recomendables para un conocimiento de la Historia de la Construcción. Entre ellas, señalaremos la realizada por Eugene S. Ferguson, profesor de Ingeniería Mecánica en la *Iowa State University*, denominada *Contributions to Bibliography in the History of Technology,* la cual debe ser considerada como una bibliografía muy completa en este campo.

La Historia de la Construcción como análisis estructural

También últimamente, muchos de los estudios sobre Historia de la Construcción se dedican al desarrollo de las técnicas estructurales. Así, en noviembre de 1995, se celebró en Barcelona el *I Congreso Internacional sobre estructuras antiguas*. Por ello, habitualmente los estudios han sido realizados por parte de ingenieros interesados en las estructuras antiguas. Para estos análisis estructurales, se están aplicando las técnicas más novedosas. Uno de los pioneros en este sentido es Robert Mark, profesor de Arquitectura e Ingeniería Civil en la Universidad de Princeton, quien para el análisis de las estructuras góticas, fundamentalmente, aplica el procedimiento del *modelado fotoelástico.*

Es interesante señalar la labor que, en esta línea de estudios estructurales, viene realizando el *Instituto de Tecnología de Massachusetts* (Massachusetts Institute of Technology, MIT), el cual, dentro del programa *Alfred P. Sloan,* ha organizado durante los últimos cinco años una serie de seminarios sobre el papel de la tecnología en la Historia de la Arquitectura, y que ha visto sus frutos en la obras editada por Robert Mark *Architectural Technology up to the Scientific Revolution* (MIT, 1993), obra pionera en el análisis del comportamiento estructural de los principales edificios de la Antigüedad.

Otros enfoques

A los estudios de *Historia de la Construcción* desde el punto de vista de la Tecnología o de los comportamientos estructurales habría que añadir otros tipos de análisis menos frecuentes. Por ejemplo, el análisis del factor humano interviniente en la construcción (el arquitecto, el aparejador, el obrero y el artesano en las diferentes variantes de mano de obra) así como de la situación social de éstos. Podemos decir que un hito en esta línea supuso la obra de M.S. Brigg *(The Architect in History),* publicado en Oxford en 1927, que constituyó el único intento en este sentido y que ha sido el único e interés hasta que en 1977 la Universidad de Oxford publicara la obra *The Architect. Chapters in the History of the Profession.*

No cabe duda de que en este tipo de trabajo ha venido impulsado por dos factores. De un lado por el desarrollo del sentido de la profesión, así como —en ocasiones— de las instituciones corporativistas y profesionales. Pensemos, por ejemplo, que en los últimos años se han realizado algunas publicaciones en España sobre la Historia del Aparejador, una figura significativa de la Historia de la Construcción en España y que todas ellas han venido impulsadas, o al menos publicadas, gracias a la intervención de los Colegios de Aparejadores y Arquitectos Técnicos

que tan buena labor cultural vienen realizando. El segundo de estos factores es el interés que han adquirido los estudios sociológicos en general (la Sociología de la Historia), el cual, lógicamente, alcanza también al ámbito de la Construcción.

Otro enfoque de estos años, particulamente aplicado a las técnicas constructivas de la Prehistoria y la Antigüedad y que en nuestra opinión menos acertado por lo que preferimos obviarlo en nuestro trabajo, es el, podríamos decir, "ocultista", o sea, el que explica los procedimientos constructivos con fundamentos poco certeros, basándose en creencias poco demostrables. Este tipo de estudio se fomentó en gran medida a partir de la Segunda Guerra Mundial, cuando adquirió una gran difusión la nueva teoría de la *Arqueoastronomía*. Por ejemplo, son muy conocidos los planteamientos de Hawkins y Thom, quienes defendían que los *cromlechs* de Gran Bretaña era observatorios astronómicos.

3. Novedades en las fuentes El interés por las fuentes directas.

En los últimos años, se observa cómo los estudiosos de la Historia de la Construcción, persiguiedo una mayor veracidad, prefieren acudir a las fuentes directas (más que a los estudios bibliográficos previos, que en ocasiones resultan demasiado equívocos y carentes de fundamento), para el análisis de la construcción en épocas pasadas. Así, han proliferado los estudios de los tratados de construcción, así como los de arquitectura, en los cuales se han buscado aquellos datos constructivos que pudieran resultar de interés. Igualmente, se recurre como fuente directa a la propia edificación, sobre la cual se realizan estudios y ensayos a partir de las nuevas técnicas.

4. Novedades académicas La incorporación de la Historia de la Construcción como disciplina académica

En último lugar, podemos señalar cómo en diferentes contextos docentes, empieza a surgir la idea de incorporar la enseñanza de la Historia de la Construcción a otras materias, basándose en la necesidad de implicar la Construcción con la Historia de la Arquitectura, con la Composición, con el diseño de estructuras, con la Geometría Descriptiva y el dibujo,... incluso con el proyecto arquitectónico.

Recientemente en diversas universidades (Amsterdam, Copenhague, Londres, Masachusset,...) se han incorporado materias vinculadas a la Historia de la Tecnología y que incluso se vienen impartiendo con cierta regularidad cursos y seminarios sobre la tecnología en la edificación y sus consecuencias estructurales (por ejemplo, el MIT).

En el caso español, curiosamente, los orígenes de la docencia de *Historia de la Construcción*, se remontan a la enseñanza encubierta por la que ciertos profesores de Arquitectura abogaban, planteándola al margen de la de Historia de la Arquitectura, entonces impartida en el Cuarto Curso Superior de esta carrera. En concreto, los pioneros fueron un grupo de profesores de la Escuela de Arquitectura de Madrid, sin duda encabezados por el profesor profesor Carlos Gato, quienes durante el primer cuarto de siglo abogaban por una vertebración de las diferentes asignaturas entre sí, planteando un método de enseñanza integral, una «simbiosis espontánea» entre las asignaturas. No obstante, la Historia de la Construcción que Gato y estos autores defendían distaba en parte de la que nosostros proponemos. Gato planteaba una secuencia lógica y vertebrada de la arquitectura monumental de Occidente a partir del problema de los empujes, pues el concepto que Gato tenía de la Historia de la Construcción era parcial, fundamentalmente porque sólo refería la evolución de los sistemas de cubierta. Para Gato, como para el resto de los docentes que iban en esta línea, el texto de Viollet Le Duc era una pieza clave, por ejemplo, la interpretación de las bóvedas francesas y anglonormandas era un trasunto en lo fundamental de la de Viollet Le Duc, siendo también interesante el paralelismo entre los dibujos. También quedaba clara la presencia de Choisy, en todo lo referente a bóvedas romanas y bizantinas. Como la de otros autores decimonónicos, ésta era particularmente evidente en el aspecto gráfico, entre cuyos dibujos existía un interesante paralelismo.

Sin embargo, se trataba tan sólo de un enfoque peculiar y de la orientación de la asignatura de Construcción pues hasta que en 1972 con la elaboración del nuevo Plan de Estudios de Arquitectura Técnica se introdujo esta disciplina, la Historia de la Construcción no estuvo integrada como tal en ninguna formación académica española. Actualmente,

esta materia no es exclusiva de la Carrera de Arquitectura Técnica; con los nuevos planes de estudio se ha producido una incorporación de esta disciplina a la formación que se imparte en algunas Escuelas Técnicas de Arquitectura Superior y de Ingeniería, en lo que se refiere a Historia de la Construcción Civil. Así, Poco a poco va ampliándose el número de estudiosos de la materia; buena prueba de ello son los Congresos Nacionales de Historia de la Construcción que en esta su tercera edición vienen desarrollándose desde la Sociedad Española de Historia de la Construcción.

Las bóvedas de la iglesia de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros (Burgos)

Rodolfo Gutiérrez-Solana Perea

La presente comunicación sobre las bóvedas de la iglesia de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros es el fruto inicial de una línea de investigación más amplia que se está llevando a cabo en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas e Ingeniería de la Construcción y del Terreno de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Burgos, y que engloba el estudio genérico de todo tipo de iglesias, sean de una o más naves, basilicales o de planta de salón, abovedadas o adinteladas, a partir del análisis comparativo de sus peculiaridades constructivas con los tratados de la época, sus constructores, elementos y tipología ....En éstos momentos, nos ocupamos de las *hallen kirchen* o iglesias de planta de salón.

Al estudiar la iglesia de Santa Cecilia, nos encontramos con un templo desarrollado dentro de unos parámetros espacio-temporal-técnicos muy específicos y característicos: una localización muy determinada, en la zona a caballo entre Trasmiera (ahora Cantabria), Vizcaya, La Rioja y Burgos (figura 1); un edificio realizado en su mayor parte en el siglo XVI, época de apogeo del «gótico vascongado» y en una época entre los canteros de tradición gótica y los arquitectos de base más técnica. Todo ello nos da pie para utilizarla como modelo de análisis de un grupo más amplio cual son las *hallen kirchen* o iglesias de salón. En concreto haremos un análisis comparativo con las iglesias de:

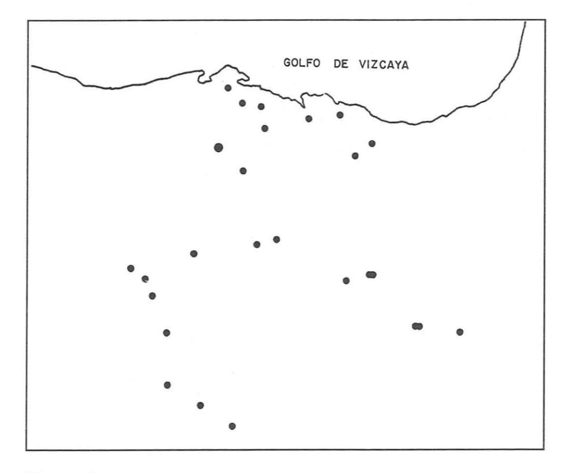


Figura 1
Mapa de distribución

- Sta. Eugenia de Villegas, Sta. Cruz de Medina de Pomar, S. Juan de Aranda de Duero, Monasterio de la Vid, Sta. María de Ribarredonda, Santibáñez Zarzaguda, Villahoz, Villaveta, Melgar de Fernamental, Olmedillos de Roa, y Sta. María la Mayor de Briviesca, en la provincia de Burgos.
- Santa María de Güeñes, S. Vicente de Abando, Sta.María de la Asunción de Guernica, y la Purísima Concepción de Elorrio en Vizcaya.
- S. Andrés de Eibar, en Guipuzcoa.
- El Convento de la Piedad en Casalarreina, Nuestra Sra. de la Asunción en Navarrete, S. Miguel en Alfaro, Sto. Tomás, y S. Cosme y S. Damián

de Arnedo, Sta. María la Redonda, y Sta. María del Palacio en Logroño, en La Rioja.
— Pámanes, Guriezo, Barcena de Cícero, y S. Vicente de la Barquera en Cantabria.

Dentro de las iglesias de planta de salón, la de Espinosa de los Monteros, es un claro ejemplo de cambio de modelo a lo largo de su construcción, empezada según el modelo predominante en el gótico francés, el basilical de naves escalonadas, y terminada con un modelo más germánico, el de las *hallen kirchen*.

Esta variación en el modelo de la iglesia implica, amén de un cambio total en el concepto espacial y de iluminación, el pasar del dominio de la nave central sobre las laterales (tres espacios claramente diferenciados con iluminación independiente en cada uno de ellos) a un espacio único con naves a igual altura e iluminadas solo a través de las paredes que conforman la dominante caja muraria; supone, además y principalmente, una variación sustancial en el diseño global de la estructura del edificio, como es el cambio total en el sistema de contrarresto de las bóvedas.

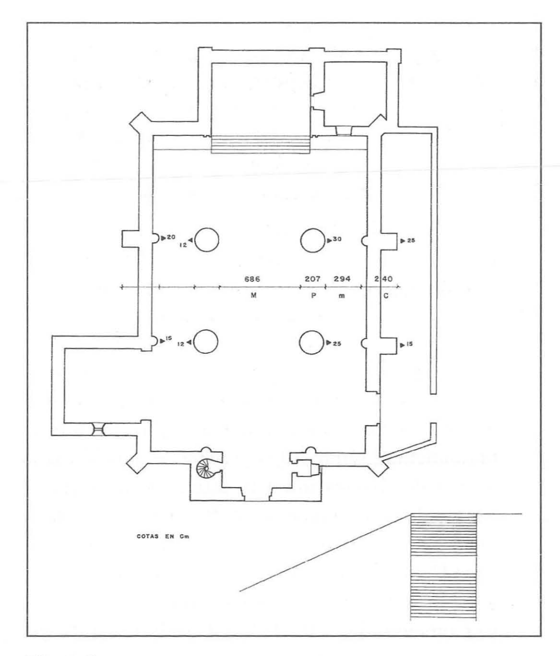


Figura 2
Desplomes

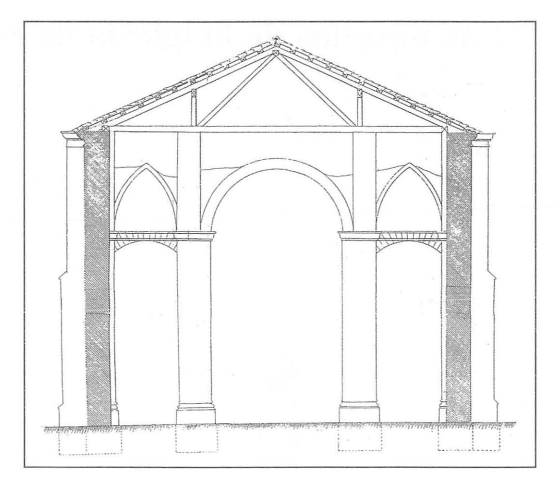


Figura 3
Según proyecto de 1891

Esta mudanza, con la iglesia empezada a construir, como es el caso de la de Espinosa o Güeñes, so la transformación de una iglesia anterior ya construida como es la de Elorrio, terminada en gótico en 1506 y remodelada entre 1550 y 1589 aproximadamente, y si además se deben aprovechar las trazas e incluso las cimentaciones y soportes ya existentes, es un problema de muy hondo calado del que no todos los maestros canteros de la época salen airosos, como escribirá en el siglo XVIII el arquitecto giennense Antonio Ramos «... No sabemos que desde Vitruvio a nuestros días haya habido arquitecto tan diestro que se haya liberado de ejecutar sus obras sin la desconfianza de haberles dado a los pies derechos más o menos espesor que el que justamente necesiten...», máxime si tenemos en cuenta que los tipos de arcos y bóvedas varían, pasando de ser apuntados a semicirculares e incluso como es el caso de Espinosa a una combinación de ambos, (figura 3) que en muchos casos es la raíz de muchos de los problemas posteriores.

Analizaremos ahora la iglesia de Espinosa desde dos puntos de vista: comparándola con las reglas al uso en los años de su construcción e inmediatamente posteriores, de tradición gótica y abundantemente contrastadas, como las que se recogen en los tratados de Simón García y Derand.(figuras 4 y 5) y, en segundo lugar, comparándola con el resto de las iglesias ya citadas.

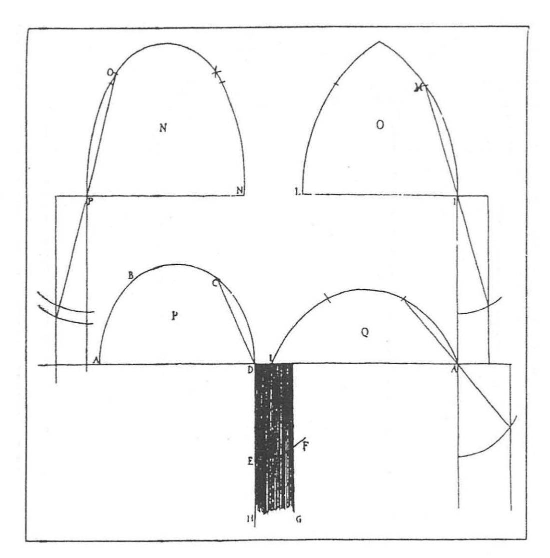


Figura 4
Regla geométrica gótica para el cálculo de los estribos (Derand, 1643)

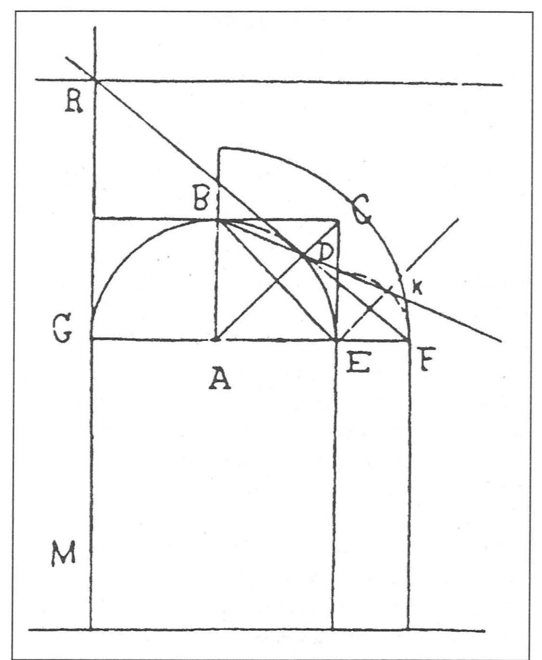


Figura 5
Rodrigo Gil

Desde el primero de estos puntos de vista, vemos que las dimensiones de los soportes centrales valdrían para soportar holgadamente la nave central, incluso sin naves laterales, pues cumplen la regla del 0,25 de la luz la nave central (Derand) y la del 0,293 (Simón García y Rodrigo Gil), pues su relación es de 0,301. Con relación al tamaño de los contrafuertes de las naves laterales esa proporción, 0,82 es aún más holgada.

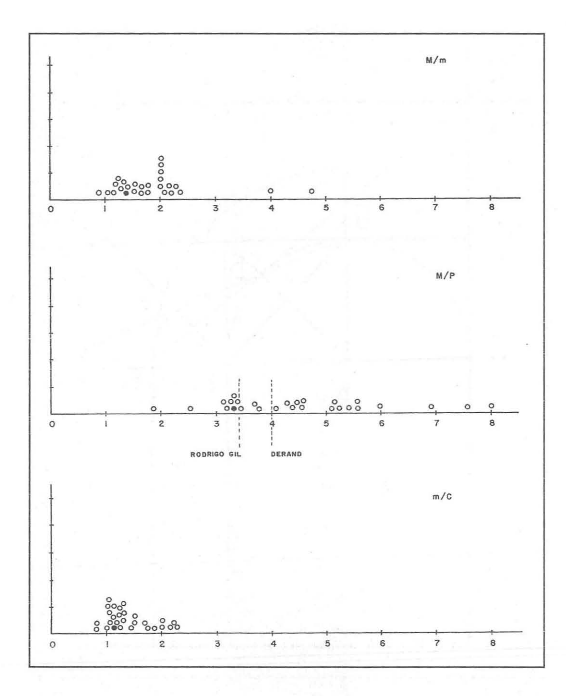
Desde el segundo; si realizamos las tres relaciones siguientes, Luz nave mayor/ Luz nave menor; Luz nave mayor/ Diámetro soporte central, y; Luz nave menor/Dimensión del contrafuerte, haciendo una distribución en nube (figura 6) se puede comprobar que en los tres casos, no sólo está dentro de la norma habitual sino que, en el caso de M/P y m/C está claramente del lado de la seguridad.

Según estos análisis las bóvedas deberían ser completamente seguras y no dar ningún problema, aunque la realidad nos demuestra meridianamente que no es así. Los desplomes existentes (figura 2) (foto 1) en los pilares centrales de 30, 25 y 12 cm., así como los de los muros laterales, 25 y 15 cm. nos dan como resultado una deformada de la sección (figura 7) que ya obligó en 1891 al cierre de la iglesia y a grandes obras de consolidación, que parecen haber estabilizado la mayor parte del conjunto, salvo el tramo de los pies del lado Sur (foto 5) que aún continua desplazándose, pero en este caso es más por problemas de cimentación, al haberse realizado obras de ampliación en los sótanos de edificaciones muy próximas.

Que las dimensiones de los desplomes sean mayores en el lado Sur que en el Norte tiene una clara explicación, pues en éste existen adosadas las antiguas casas curales que hacen de contrafuertes y arbotantes, (foto 2) y que en el lado Sur, hasta los años 30 de este siglo, sólo existía un pórtico de poca entidad (foto 3) que no realizaba prácticamente funciones de contrarresto, aunque en la actualidad existen unas dependencias de la iglesia que, si bien tienen dos alturas, al no tener casi muros transversales no ejercen funciones de contrarresto apreciables (foto 4).

Conclusión

Apesar de todo, consideramos que los desplomes deben ser bastante antiguos (quizá casi inmediatos a



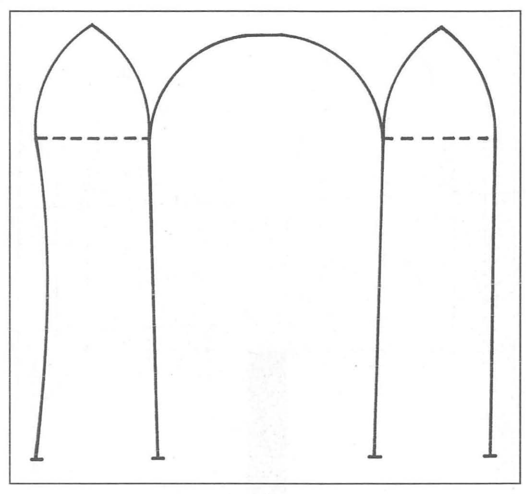


Figura 7
Deformada



Foto 1



Foto 2

su construcción) y se produjeron y ampliaron por una sobrecarga en los arcos torales, posiblemente por los apoyos del tejado sobre ellos; de hecho, comparando la iglesia de Espinosa con la de Güeñes, se observa que existen desplomes apreciables en esta salvo en un pilar que está entre un arco de medio punto (en la nave central) y uno apuntado (en la nave lateral).

Bibliografía

Barrio Loza, J. A.: «Arquitectos montañeses en Vizcaya», *Altamira*. Diputación de Cantabria, 1979-80, pp. 151-163.

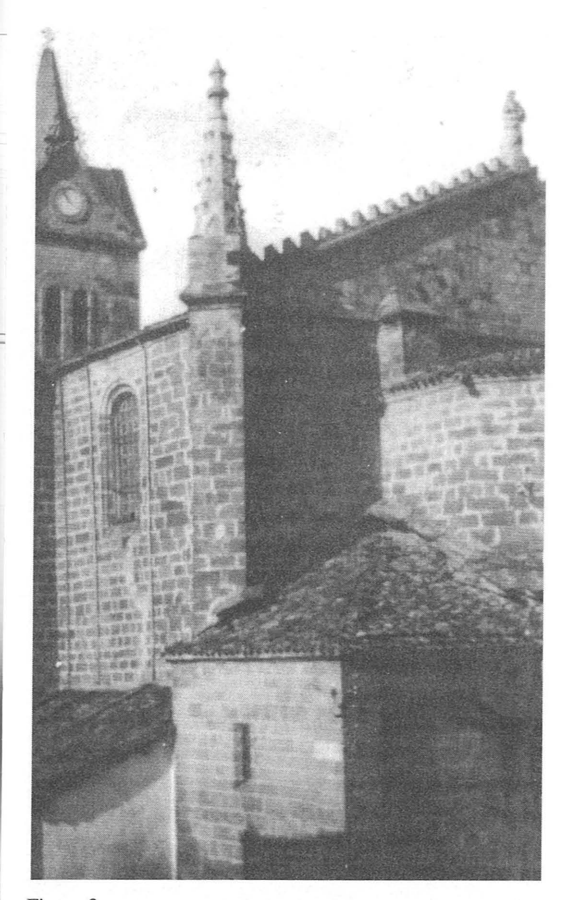


Figura 3



Foto 4

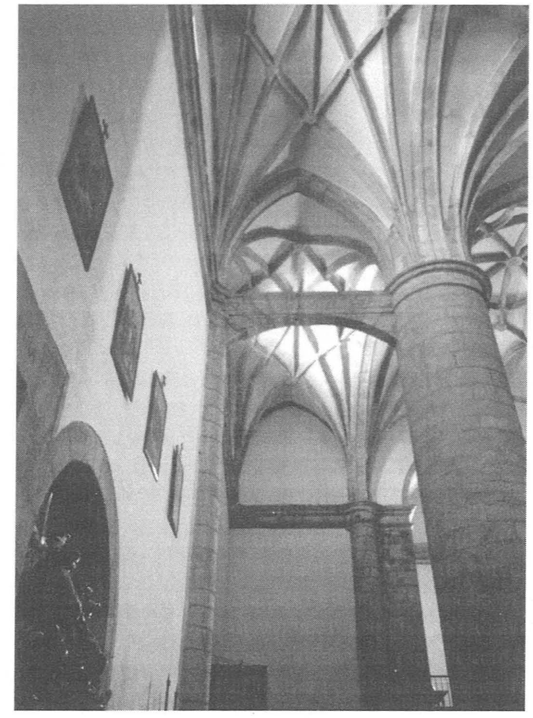


Foto 5

Blondel, F.: *Cours d'architecture,* 1683.

Chueca Goitia, F.: *Historia de la Arquitectura Española/ Edad Antigua y Edad Media.* Ed. Dossat. Madrid-1965, pp. 272-275.

Derand, F.: L'architecture des voûtes ou l'art des traits et coupes des voûtes. París, 1643.

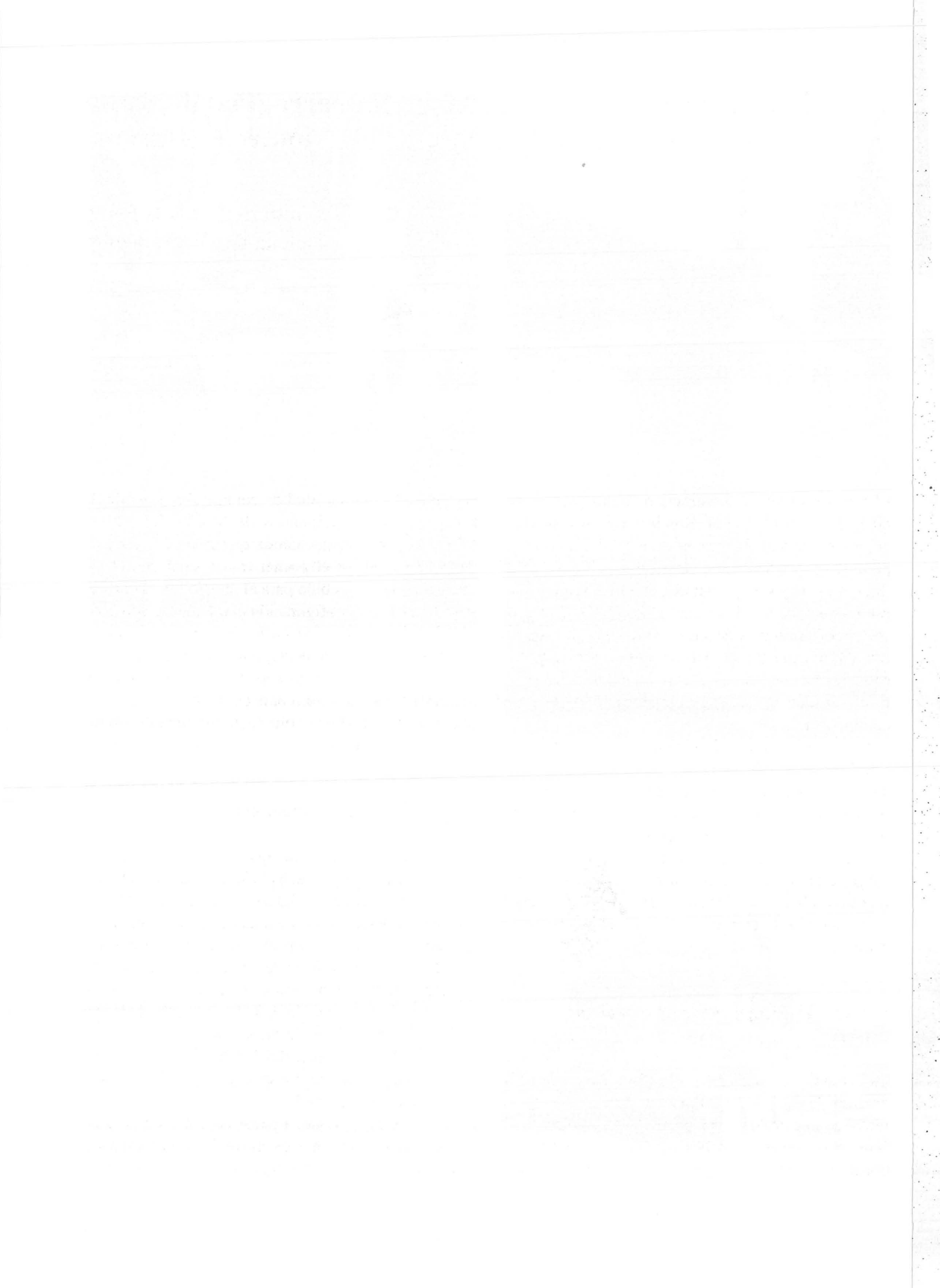
Garcia, S.: Compendio de arquitectura y simetría de los templos conforme a las medidas del cuerpo humano, con algunas demostraciones de geometría.1681. C.O.A. Valladolid 1991 (2 vols.). Basado en el manuscrito de Rodrigo Gil de Hontañón (1540).

Gautier, H.: Dissertation sur l'epaisseur des culées des Ponts, sur la Langeur des piles, sur la Portée des voussoirs, sur l'Érfort & la Pesanteur des Arches à differens surbaissemens... París, 1717.

Gómez Martínez, J.: *El gótico español de la edad Moderna. Bóvedas de Crucería.* Universidad de Valladolid 1998, p. 214.

Heyman, J.: *Teoría, historia y restauración de las Estructuras de Fabrica.* Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1995, pp. 276-277.

Ramos, A.: *Sobre la gravitación de los arcos contra sus estribos.* Real Academia de S. Fernando. C.O.A. Málaga, 1992.



El proceso constructivo de la iglesia parroquial de Santa Cecilia en Espinosa de los Monteros (Burgos)

Rodolfo Gutiérrez-Solana Perea
Helena de Diego Alegre

El complejo proceso constructivo de la iglesia parroquial de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros, en la provincia de Burgos, se desarrolló durante gran parte del siglo XVI; su construcción se compuso de diferentes etapas muy dilatadas en el tiempo que dieron como resultado final una iglesia poco sólida que se resintió enseguida de sus imperfecciones constructivas, y que arrastró a lo largo de su existencia numerosos problemas debido a esas irregularidades constructivas que se irán desvelando a lo largo de la comunicación.

En la actualidad, el templo de Santa Cecilia es una iglesia de planta de salón, con tres naves a la misma altura, y tres tramos, cabecera poligonal y coro a los pies. Su configuración es la de iglesia columnaria del tipo de las que en esa misma época realizan maestros canteros trasmeranos en la región vizcaína. Sin embargo, ésta no fue su configuración inicial, como demuestran algunos de los restos que se pueden observar dentro del templo y que se constatan en la documentación que se presenta.

Los restos góticos del templo de Santa Cecilia

La iglesia posee una piedra fundacional en la parte exterior de la nave de la Epístola, donde se recoge la fecha de iniciación de las obras del templo en 1521. Junto a esta piedra, en la parte interior, se observa, claramente, un soporte gótico de gran altura que se compone de una multitud de columnillas al modo de los soportes evolucionados de finales del gótico. Efectivamente; sospechamos que tanto la cabecera de la iglesia como el primer tramo siguieron el esquema inicial concebido para el templo, de planta basilical y con una configuración claramente tardo gótica tanto en planta como en los diferentes elementos constructivos. Posiblemente, junto con este pilar adosado al muro, estaban los soportes centrales que fueron embutidos posteriormente en los nuevos soportes renacentistas, grandes columnas circulares de fuste completamente liso.

Santa Cecilia en el siglo XVI

Lo que desde luego es innegable es que, a partir de 1521 hasta la primera fecha (1550) en la que aparece documentación sobre la iglesia en el Libro de Visitas y Cuentas, se desarrollan varias de las obras de construcción de la iglesia. En el año de 1550, encontramos las primeras noticias de Santa Cecilia en las que se mencionan ya la presencia de la capilla mayor, de la capilla de la Evocación de la Purificación de Nuestra Señora «fundada en la dicha iglesia» y capilla dotada por Pedro Gómez del Pontón.[1] Es decir, que para esa fecha, estaba construida la iglesia o al menos la mayor parte de ella.

Pero lo cierto es que, a partir de 1553, comienzan a constatarse una serie de obras importantes en la iglesia que serán las que definan la anatomía defini-

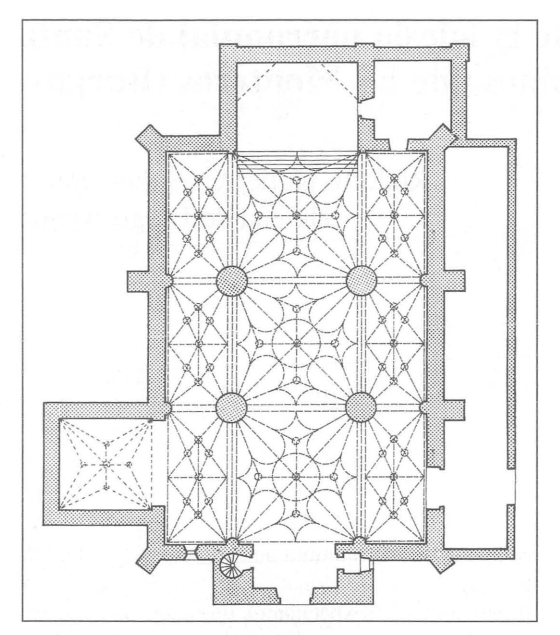


Figura 1

tiva de la misma tal y como hoy la conocemos. En realidad, no sabemos si estas obras responden a una continuidad con el periodo de construcción iniciado en 1521 o se trata de una nueva fase de las obras dentro de la iglesia. Existe un maestro cantero, García de la Pasadilla,[2] que aparece en la documentación[3] como maestro de obras de la iglesia, lo cual demuestra que ésta seguía o estaba aún en obras. Además, se hace referencia a las goteras y retejo del tejado, a las campanas y a algunos retablos,[4] por lo que la iglesia debía estar terminada de alguna manera o estaba en la última fase de las mismas. De hecho, al año siguiente, encontramos documentación sobre los «fiadores de la capilla para que quitasen las cimbras para la seguridad».[5] No sabemos a qué capilla se hace referencia, pero lo que nos queda claro es la existencia de obras de importancia dentro de la iglesia.

Por otro lado, parece que las obras de reparación y desperfectos que se suceden son prácticamente continuos, lo que demuestra como ese largo periodo de obras influye de manera muy negativa en la construcción en buenas condiciones de la fábrica. Así, de nuevo, en 1556, se realizaron obras de retejo de la iglesia.[6] Además, antes de acabar el año se registran nuevas e importantes obras de las que parece hacerse cargo Juan de la Vega, maestro de cantería de la zona de Trasmiera[7] que asume la mayor parte de las intervenciones del periodo que abarca los años de 1553 a 1562.

Las obras de 1556 nos marcan el estado posible de la construcción de la iglesia en esa fecha. En la documentación encontrada en los libros de cuentas, se hace mención a obras de cantería en la cantera como la extracción de la piedra, construcción de andamios, extracción de piedra toba, posiblemente para la realización de cubiertas, labores varias de cerrajería... Pero lo más importante de lo realizado en ese año hace mención a la finalización de la capilla (sospechamos que se trata de la capilla mayor de la iglesia): «...14 reales de bebidas a los oficiales de sus...y un yantar que se les dio cuando se acabo la capilla...»[8] y al allanamiento de la iglesia.[9] Además, durante esas fechas está constatada la presencia de diferentes maestros que probablemente realizaron diferentes obras: «...mas a Diego de la Maza y a Sebastián Ruiz y Pedro de Collado[10] y Pedro Gómez y Pedro Ruiz y Gregorio de la Higuera 64 reales según paresce por los conoscimientos[11] que estan en el libro de conoscimientos...».[12]

Además, continúan las obras de remate de la capilla mayor por tejar la capilla de argamasa, por lo que se paga 90 reales.[13]

Sin embargo, parece que estas obras no se finalizaron completamente ya que en 1559 encontramos nuevamente la aparición de obras en la misma:

— ...se dieron a Juan de la Vega maestro de la capilla seis ¿ducados? En abril de 1557 según paresce por un conocimiento firmado de Diego de Meruelo y Miguel de la Torre[14] por el dicho Juan de la Vega
— mas se dio a Diego de Garay tres ducados y seis reales para recubrir la capilla y darle llanilla según paresce por un conocimiento firmado por Juan de Becandia por el dicho Diego de Garay y Juan de Porres clérigo.
— Mas se dio a los carpinteros que quitaron las cimbrias y andamios de la capilla de ... para cerrar la capilla diez obreros....[15]

Posteriormente, aparecen nuevas obras para rematar esta última intervención en la capilla. Así, en noviembre de 1559 encontramos una intervención con el siguiente presupuesto: «ocho reales de retejar la capilla de nuevo y cuerpo de la iglesia ...».[16]

Resulta confuso determinar qué parte de la edificación se utilizaba como iglesia, ya que si bien se habla de continuos retejos en la iglesia, no es menos cierto que las obras continúan de manera clara en la misma. Constancia de ello lo deja la documentación de 1561 que se dispone sobre la parroquial de Santa Cecilia. En abril, de ese mismo año se recogen noticias sobre obras de un altar que se cayó, del aderezo de las puertas de la capilla (no se recogen más datos sobre a que capilla se refiere el documento), aderezo del camino para traer las «esquinas», retejo de la iglesia nuevamente y aderezo de la botica que «se cayó».[17] De octubre de ese mismo año, recogemos nuevas noticias sobre la continuación del proceso constructivo de la iglesia:

> ...Juan de Porres, mayordomo de la iglesia de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros paga a Pedro del Casar y a Juan ... Herrera por sacar la piedra para la iglesia como paresce por un conoscimiento de los mismos ante Juan Azcona, maestro que está asentado en el libro y el pacificador declarado de la iglesia...»
> ...Compra de veinte carros de cal a 6 reales cada carro...»
> ...Y se dieron a Juan de la Vega, Maestro de la obra 23 ducados según paresce por conoscimiento firmado de Pedro Ortíz Martínez y de Juan de la Vega hijo del susodicho maestro[18] el cual está asentado en el libro de conocer
> ...Mas se dio a Juan de la Vega 13 reales por ciertos días que se detuvo para hacer moldes y contramoldes para dar traza para sacar la piedra...»
> ...»Se paga a Juan Ruiz de la Puente y a Pedro Martínez de Quintanar y a Diego Ruiz de Para 25 reales a cuatillo el carro por sacar la dicha piedra...[19].

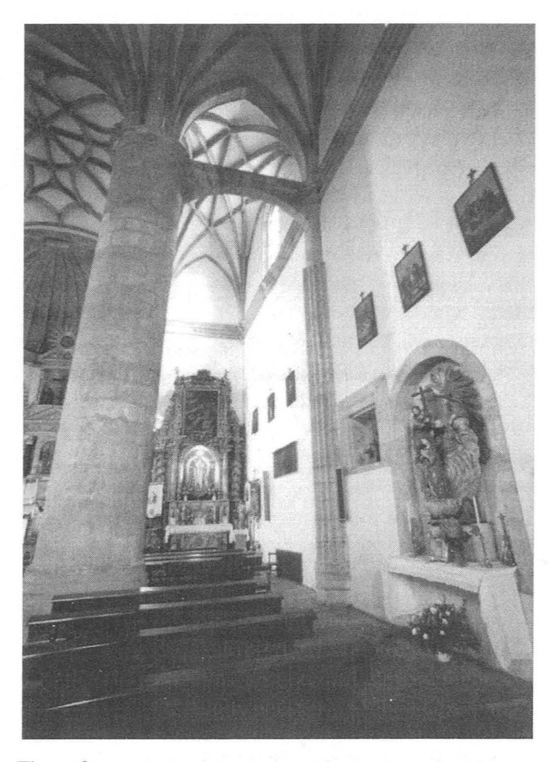


Figura 2

Las obras continúan al año siguiente; entre todas ellas, destacamos, el retejo, una vez más, de la iglesia, aderezo del chapitel y el campanario, y otras menos concretadas pero que parecen tener su importancia dentro del conjunto de la construcción. De hecho, por los materiales que se utilizan en este momento, las obras que se mencionan y los utensilios que se emplean, parece que nos encontramos en la elaboración de la parte superior de la iglesia:

> ...2 mrv de hacer una angarilla
> 1 real para dos llaves de la capilla
> un real pagado a Antonio de Trueba el Mozo por una claraboya del valle
> un real para pagar a los diez o doce hombre que 1 día de San Nicolas metieron unas piedras labradas en la capilla.
> 5 reales que se gastaron en retejar la iglesia toda
> 38 maravedíes de aderezar el chapitel y el campanario
> 250 maravedíes de sogas y clavazón y cordeles para hacer el monumento
> dos reales a Juan de Sarabia por una angarilla nueva
> 4 reales a Juan de la Vega (el maestro de cantería) por dos días que se tomó en ir a la cantera y hacer cortar las cimbrias
> 20 maravedíes a los hombres que fueron a cortar la madera a hevilla
> 52 reales a Gregorio de la Higuera y sus compañeros de carpintería por las maderas de las cimbras y hacerlas
> un real a Juan de la Vega y a otro hombre que fueron a señalar las piezas a la cantera para traerlas
> cuatro reales por el trabajo de treinta hombres para meter los ¿percales? Y maderas para las camaras
> 2 reales a seis carpinteros para las cámaras
> diferentes gastos para colocar la maroma y asentar el torno
> por aderezar el yugo de la campana, 15 maravedíes

pago de una comida a Juan de la Vega por el cierre de un arco
pago de otra comida a Juan de la Vega, maestro de cantería y a sus oficiales por terminar una ventana y un arco
se habla también de piezas mayores que se suben a la obra
73 reales que se pagan a Pedro de Llano maestro de carpintería por hacer los andamios de hacia la parte del rio de nuevo y una ... y moldura para la obra
36 maravedíes a Antonio Trueba el Mozo por tres carros de piedra toba
más una comida que se dio al maestro y a sus oficiales cuando cerraron lass ventanas de hacia rio ... y de hacer la pared de ... la capilla de Santiago y la capilla de...»[20-1]

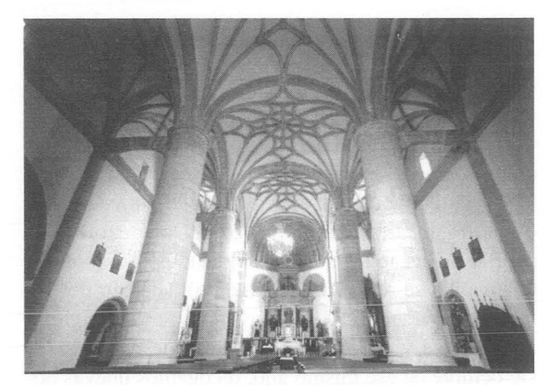


Figura 3

A partir de aquí, encontramos un importante vacío en la documentación que dura hasta el año 1569, en que de nuevo, en el Libro de Visitas y Cuentas, encontramos noticias de Santa Cecilia, aunque se trata de obras menores excepto el nuevo retejado de la iglesia.[20-2] De este periodo, la única noticia que tenemos es la que nos da Barrio Loza en su estudio sobre la iglesia de Güeñes[21] y en el que asegura que el maestro cantero Rodrigo de la Pasadilla[22] fue mandado por Miguel de la Torre a Espinosa de los Monteros para que tomara e hiciera la iglesia de Santa Cecilia. Desgraciadamente, este periodo está en blanco en cuanto a documentación se refiere, pero no se descarta la presencia del cantero allí, ya que anteriormente aparecen tanto Miguel de la Torre como Pedro de Collado en el libro de conocimientos de la parroquia en el año de 1556 y 1559.

Sin embargo, encontramos otra nueva fase de obras en la iglesia que comienzan en el año 1571. El 5 de junio de ese año, se firma un contrato entre los mayordomos de la iglesia de Santa Cecilia y los maestros carpinteros Fernando del Acebo, Juan de la Higuera y Juan del Cotero, apareciendo Ruiz de Carriedo vecino de Espinosa como su fiador. En él, se comprometen a realizar, antes de finalizar el mes de agosto, y dar cerrado de madera y teja armada de carpintería toda la obra de la capilla mayor de la iglesia, capilla que también denominan como capilla «de la benera» por su configuración en esa forma tan característica de la arquitectura del XVI. Los carpinteros deben recibir todos los materiales (especialmente madera y teja) a pie de la obra, y el importe de la misma asciende a 11.000 maravedís.[23] Además, en el libro de Visitas y Cuentas de la parroquia se hace mención a los diferentes elementos utilizados:

...Primeramente fue concertado con Juan del Cotero carpintero y los demás carpinteros dela obra de cubrir de carpintería la capilla mayor e benera que se había caido el tejado con la niebe .... mas de teja y canalones para la benera y lastras para el tejado de la capilla mayor cobra por dicha obra cinco mil ciento ochenta y tres maravedís .... mas de clavos para la dicha obra según se dio por estenso y de los andamios para la cantería e cielo de la capilla cuatro mil veintitres maravedís .... mas costo la madera que se compro y cortar la que se dio en los montes de la villa seismil cuarente y tres maravedís ....[24]

Sin embargo parece que la obra se derrumbó o se deterioró en tan sólo un mes puesto que el 1 de julio se 1571 encontramos una carta de obligación entre el consejo del barrio de Berrueza de Espinosa de los Monteros y Gonzalo García Fermosa, maestro de cantería y vecino del lugar de Redondo en el valle de Ruesga, para realizar la obra de tres capillas nuevas, dos hornacinas y la capilla mayor de la iglesia de nuestra Señora de Santa Cecilia de esta villa, que tiene que estar terminada para el día de San Juan de Junio de 1572.[25]

El último año en el que constan obras de construcción antes de comenzar la ruina de la iglesia es en 1575 en el que Rui Saez Cordero maestro de cantería vecino del lugar de Liérganes, se compromete ante el clérigo de la iglesia de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros, a realizar una obra consistente en unas claraboyas para el altar mayor de dicha iglesia «ma-

yores y menores que se extienden desde las gradas». Se compromete dicho maestro a sacar las piedras de la cantera, a labrarlas y asentarlas a su costa y la traída de los demás materiales a costa de la iglesia. Debe darlo acabado para el día de San Juan, de 24 de Junio. Las piedras de dichas claraboyas han de ser blancas lo más que pudieren. El precio es de 20 reales.[26] Además aparece nuevamente este maestro de cantería en una nueva obra de enlosado, gradas y altares de la iglesia.[27] El precio de esta obra es de 74.050 maravedís.

A partir de aquí el declive de la iglesia es rápido y evidente. Ya en 1584 se tienen que contratar importantes obras de reparación,[28] y no será esta la última evidencia del deterioro de la misma ya que en 1671 se constata nuevamente el estado de ruina de la iglesia.[29]

Es especialmente a lo largo del siglo XIX donde se observarán las intervenciones continuas para retejos sucesivos de la iglesia que finalmente llevan a la gran obra realizada en la misma a fines de siglo XIX. En esa época eran evidentes no sólo los desniveles de las diferentes partes con el consiguiente peligro de derrumbamiento sino un estado de ruina inminente que obligan a su cierre al culto[30] y plantean un estudio minucioso de todos los males estructurales que afectan al templo. Quizás, lo más interesante de estas obras es la propia memoria de reparación de la iglesia[31] y el pliego de condiciones facultativas donde se constatan todos los males del edificio así como las soluciones adoptadas y los materiales y características de los mismos para un empleo óptimo en la obra.[32] Entre las obras más importantes que se llevan a cabo en este momento, destacan la demolición de los nervios de las bóvedas y tímpanos de estas debido a los desplomes de las cuatro columnas centrales y a la consiguiente deformación de las bóvedas, derribo y reconstrucción de parte de la fachada oeste y la espadaña, y colocación de cuchillos *a la Palladio* para evitar el progresivo desplome de las columnas centrales.

NOTAS

1. Archivo Parroquial de Santa Cecilia (A.P.S.C.), *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, fols. 1-12.
2. González Echegaray, M. C.; Aramburu-Zabala, M. A.; Alonso Ruiz, B.; Polo Sánchez, J. J.: *Artistas Cántabros de la Edad Moderna*, Instutución Mazarrasa. Universidad de Cantabria. Salamanca, 1991, p. 486.
3. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, fols. 13-16, 20 de octubre de 1553.
4. Idem
5. Idem, septiembre de 1554, fols. 21-22
6. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, fols. 27-49.
7. González Echegaray, M.C et alt..: *Op.cit.*, p. 680: Se data en esta obra la existencia de varios canteros con el nombre de Juan de la Vega, pero por los años en los que trabaja y la presencia de su hijo en Espinosa de los Monteros posteriormente, nos hace pensar que se trata en concreto de uno de los tres maestros de cantería naturales de Secadura, pero que fue vecino de Valladolid donde realizó la mayor parte de su obra. Entre las intervenciones que realiza nos interesa destacar la de 1553 al frente de las obras del Hospital de la Resurrección de Valladolid, y su aparición como fiador en 1566 de Rodrigo Gil de Hontañón para la obra de la Magdalena de Valladolid. Entre esas dos fechas estuvo seguramente trabajando en Espinosa de los Monteros, de donde desaparece a partir de 1562.
8. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, 1 de octubre de 1556, fols. 30-33.
9. Idem.
10. González Echegaray. M. C. et alt.: *op.cit.*, p. 166.
11. Se entiende con el nombre de conocimiento al documento o firma que se exige o se da para identificar la persona del que pretende cobrar una letra de cambio, cheque, etc. cuando el pagador no le conoce.
12. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, 1º de octubre de 1556, fols. 30-33.
13. Idem
14. González Echegaray, M. C. et alt.: *Op.cit*, p. 661 «Natural de san Miguel de Aras. Maestro de Cantería. Al fallecer su suegro, Hernando de la Vega, el 12 de marzo de 1543, se hace cargo de las obras que aquel llevaba en la iglesia de Nuestra Señora de Güeñes (Vizcaya). Abandonó la obra y fue apresado en Abellaneda en la cárcel, de la que se escapó. Su fiador Pedro de Collado se hizo cargo de la terminación de la iglesia lo que tampoco llevó a efecto. En la obra tenía como oficiales a Rodrigo de la Pasadilla, Gonzalo de la Torre, su hijo, Juan de La Iseca y Juan de Hontañón».
15. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, 8 de mayo de 1559, fols. 35-36.
16. Idem, 17 de moviembre de 1559, fols. 39-40.
17. Idem, abril de 1561, fols. 35-36.
18. González Echegaray, M.C. et alt.: *op. cit.*, p. 681. Encontramos la figura de un Juan de la Vega hijo del cantero Juan de la Vega y Hermano de García de la Vega. Según los autores comenzó a trabajar con su padre en la zona de Castilla aunque las primeras noticias de sus obras serán posteriores al año del fallecimiento de aquel en 1585. Posiblemente es el mismo cantero que

aparece en la documentación de la parroquia de Santa Cecilia.

19. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573, octubre de 1561, fols. 47-48.

20-1. Idem, 3 de septiembre de 1562, fols. 50-54.

20-2. Idem, 8 de octubre de 1569.

21. Barrio Loza, J. A.: «Arquitectos montañeses en Vizcaya», Altamira, 1979/80, p. 156.

22. González Echegaray, M. C. et alt.: *op.cit.*, p. 486.

23. A.H.P.BU., PN, 2726/1, fols. 89 vº-90, 5 de junio de 1571, Espinosa de los Monteros, Juan de Meruelo.

24. A.P.S.C., *Libro de Visitas y Cuentas* 1550-1573.

25. A.H.P.BU., PN, Juan de Meruelo, 2726/1, Espinosa de los Monteros, 1 de julio de 1571, fols. 6-7.

26. Idem, Espinosa de los Monteros, 9 de mayo de 1575, fols, 31-31vº.

27. Idem, Espinosa de los Monteros, 3-4 de agosto de 1575, fols. 33-35vº.

28. A.H.P.BU., PN, 2727/2 Juan de Meruelo, fols. 107-109, 14 de mayo de 1584: Contrato entre los clérigos de santa Cecilia y Sebastián de Alvear maestro de cantería para que deshaga la obra de Santa Cecilia «que esta arruinada y sentida por caer y por ello deshaga toda la carpintería y canteria nezesaria y lo tome de hacer de San Miguel de ese mismo año de 1584 acabada tanto de carpinteria como de canteria...» Esto se realiza bajo las condiciones de desarmar el tejado y carpintería necesaria y cimbrar las capillas todo lo que está ruinoso y no deshacer más de los necesario; ...»ha de sacar, labrar y colocar las piedras, medras y vigas nezesarias...»; los barrios de Berrueza y Quintanilla proporcionarán los materiales; y se le pagará por la obras a Sebastián de Alvear, 300 ducados.

29. «D. Cvarlos por la gracia de dios Rey de Castilla... A vos los ynteresados en losdiezmos de la Iglesia Parroquial de Santa Cecilia de la Villa de Espinosa de los Monteros salud gracia sepa ... Jorge Llorente Medrano en nombre de los beneficiados y mañyordomos de la dicha iglesia Parroquial de Santa Cecilia de la dicha villa nos hiço relación que la dicha iglesia hacia muchos años que se havia comenzado a fabricar desde su principio y se havia concedico facultad nuestra para ymponer quatro maravedies en cada açumbre de vino que se consumiese en la dicha villa en el ynterin que se acavase la fábrica de la dicha iglesia por la mucha pobreza de los vecnos y cortedad de sus caudales en cuya conformidad se havia empeçado la obra y con efecto se havia fabricado la capilla maior y las dos colaterales con lo que rendía el dicho ympuesto de quatro maravedies en cada de vino y por caussa de haver subcedido muchos años havia incendiado en el archivo que estaba en ladicha iglesia se havía quemado la dicha facultad y licencia con otros muchos papeles y privilegios de la dicha villa y desde entonces se havia cesado el continuar en la dicha obra por haver glatado el ympuesto ñy aver havido mucha esterilidad en los años y pobrezas en los veicnos todo lo qual havía obigado a que la dicha iglesia ubiese quedado no sólo ymperfecta y por acavar sino con yndescenia y con muchos abujeros y roturas de qualida que los divinos oficios se celebraran con notorio peligro por los tiempos e ynfluencias de ayres y recios tempoales que por ser tierra de montañas asperas combarian los bientos cn mucho rigor y caian muchas niebes entrandose uno y otro por diferentes roturas y orificios de la dicha iglesia caussando miedo y terror a la gente que asistia en ella sin que la piedad de los vecinos ubiesse podido socorrer esta caussa tan vigente y ... por no tener posibles para ello y lo que mas hera que sin con presteça no se ocurria el remedio dentro de muy poco vendría en diminuion y ocasionaria una grande ruyna assi por los recios temporales como porque lo fabricado no estaba seguro por estar exsentas las paredes y con poca defensa y reparo y para continuar y acavar la dicha igleisa hara necesaria querente y dos mil reales como todo se ajustaba de la la ynformacion y declaraciones de peritos de que hacia demostración en devida forma para cuyo remedio nos pidio y suplico mandasemos conceder licencia y facultad para ymponer dos quartos en cada azumbre de vino de lo que se consumiesse en la dicha villa para que se continuase y acavasse la dicha fabrica...».

30. A.G.D.BU., Espinosa de los Monteros, *Libro de Presupuestos*, leg.3, 19 de julio de 1889. El Arquitecto José Calleja comunica el estado de la iglesia: «...Y encontrándola en muy mal estado de solidez puesto que algunas de sus bóvedas de crucería amenazan ruina y es un peligro constante para el vecindario, soy del parecer que debe cerrarse al culto hasta tanto que se haga en ellas las reparaciones convenientes...»

31. A.G.D.BU., Espinosa de los Monteros, *Libro de Presupuestos, Memoria de la Reparación de la Parroquia de Santa Cecilia*, Doc. 1º.

32. A.G.D.BU., Espinosa de los Monteros, *Libro de Presupuestos*, Doc. 3, *Pliego de Condiciones de la obra.*

Bibliografía

Barrio Loza, J. A.: «Arquitectos montañeses en Vizcaya», *Altamira*, 1979-80, pp. 156-186.

Camón Aznar, J.: *La Arquitectura y la Orfebrería españolas del siglo XVI*. Summa Artis, vol. XVII. Ed. Espasa-Calpe. Madrid, 1982.

Chueca Goitia, F.: *Arquitectura del siglo XVI*. Ars Hispaniae, tomo XI, Ed. plus Ultra, 1953.

González Echegaray, M. C.; Aramburu-Zabala, M. A.; Alonso Ruiz, B.; Polo Sánchez, J, J.: Artistas Cántabros de la Edad Moderna. Institución Mazarrasa. Universidad de Cantabria, Salamanca, 1991.

Ibáñez Pérez, A. C.: «La Arquitectura burgalesa en el siglo XVI», en Cuadernos de Arte Español, núm. 91, Grupo 16. Madrid, 1993.

Inventario Artístico de Palencia y su Provincia. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid, 1977.

Palacios, J. C.: *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español.* Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Instituto de Restauración de Bienes Culturales. Madrid, 1990.

Pereda Merino, R.: *Los Monteros de Espinosa.* Centro de Iniciativas Turísticas de Espinosa de los Monteros. Junta de Castilla y León, Burgos, 1993.

Fuentes documentales

Archivo Histórico Provincial de Burgos (A.H.P.BU.) Protocolos Notariales.

Archivo General Diocesano de Burgos (A.G.D.BU.). Libro de Presupuestos de la Iglesia de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros.

Archivo Parroquial de Santa Cecilia de Espinosa de los Monteros (A.P.S.C.). Libro de Visitas y Cuentas 1550-1573; Libro de Cuentas 1865-1972; Pliegos Sueltos.

Juan de Villanueva en Teruel: el sistema hidráulico de La Ginebrosa

J. Íñigo Hereza Domínguez
Miguel Arenillas Parra
Carmen Díaz-Guerra Jaén
Rafael Cortés Gimeno

Esta comunicación se enmarca dentro de las actuaciones que está desarrollando la Confederación Hidrográfica del Ebro, encaminadas al conocimiento del patrimonio hidráulico histórico de su cuenca. La presa de La Ginebrosa o Antigua de Calanda, ubicada en la zona inundable del actual embalse de Calanda, presenta como interés especial, además del derivado de las características de su estructura y de su cuidada fábrica, el hecho de haber sido proyectada por D. Juan de Villanueva, arquitecto real de la época, como consecuencia de tratarse de una obra promovida y financiada desde la realeza, en concreto por el infante D. Antonio Pascual, hijo de Carlos III.

La intervención de D. Juan de Villanueva en el planteamiento del sistema hidráulico de la presa Antigua de Calanda está recogida por Ponz en su *Viage de España*, según se detalla más adelante. Sin embargo, no ha sido posible localizar ningún documento que trate explícitamente del proyecto o construcción de la *obra principal* (así se denomina a la presa en los legajos localizados), ya que toda la documentación recopilada se refiere a los llamados Arcos de Lacarra, que constituyen un sector singular de la acequia derivada de la presa. No obstante, la cita de Ponz y la constatación documental de que los planos de los citados arcos fueron realizados por Villanueva, son datos, en nuestra opinión suficientes, para poder asegurar que el sistema hidráulico de La Ginebrosa fue proyectado por este insigne arquitecto.

Situación actual de la presa de La Ginebrosa

La presa de La Ginebrosa o Antigua de Calanda se emplaza en el río Guadalope, en el término municipal de La Ginebrosa, provincia de Teruel (figura 1). De ella se conservan los estribos y la casa de compuertas. En las zonas que se mantienen en pie se observa que, el cuerpo de presa, estaba formado por un núcleo de calicanto de excelente calidad revestido con sillares de esmerada factura y grandes dimensiones. Por la disposición geométrica de los restos conservados la presa sería de planta curva, con paramento de aguas arriba vertical y escalonado el de aguas abajo (figura 2). La coronación, de más de cien metros de desarrollo, estaba revestida de grandes losas, observándose, en el remate del muro de aguas arriba, huellas de grapas de sujeción entre ellas.

El estribo izquierdo es el que se conserva en mejor estado, pues mantiene la mayor parte del revestimiento —tanto del escalonado de aguas abajo como de la coronación y del paramento de aguas arriba— y, también, un aliviadero de vertido en lámina libre, cuidadosamente realizado, de 3,40 m de anchura y rebajada su coronación —con respecto a la de la presa— en torno a los 3 m (figuras 3 y 4). El estribo de margen derecha ha perdido en gran medida el revestimiento de sillería, quedando al descubierto la fábrica interior de calicanto; es posible que este estribo contara con un rebosadero que permitiera el paso del agua a cota más alta que la del aliviadero situado en la margen contraria.

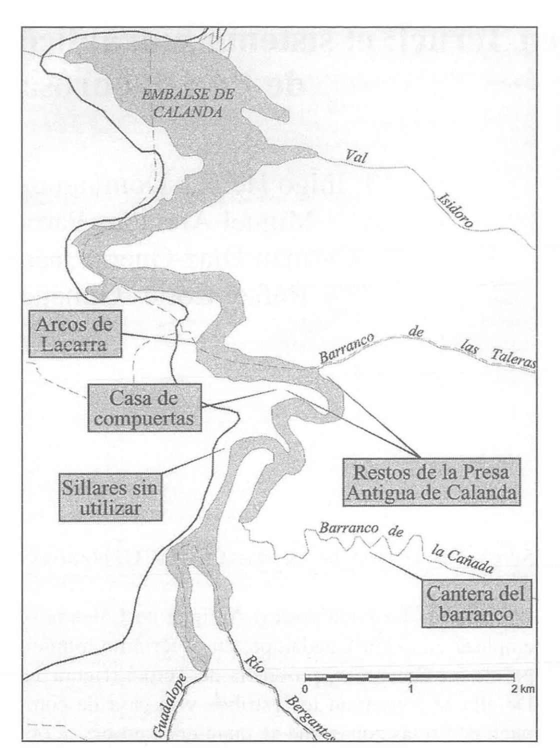


Figura 1
Situación de la presa de La Ginebrosa

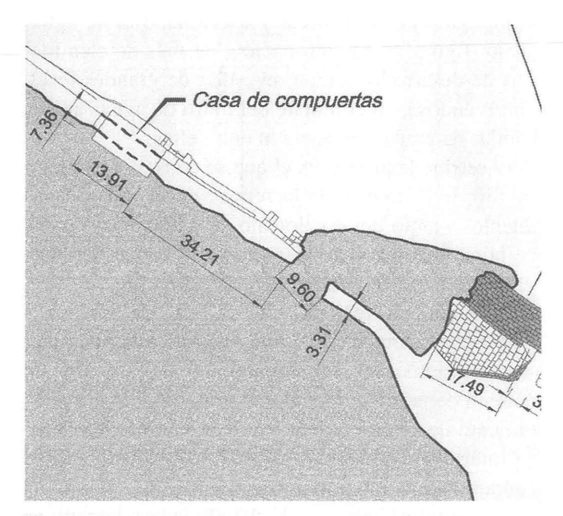


Figura 2
Planta y secciones de la presa de La Ginebrosa



Figura 3
Paramento de aguas arriba del estribo izquierdo

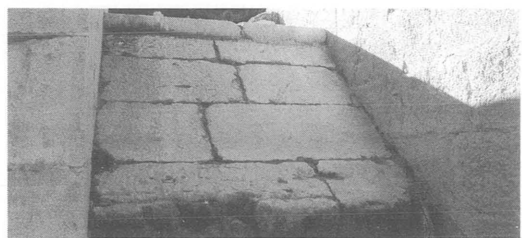


Figura 4
Aliviadero de margen izquierda

La toma se encuentra en margen izquierda, donde la conducción, en galería, atraviesa el paredón de calizas que sirve de apoyo al estribo de la presa; este túnel —de unos 10 m de longitud— está, en la actualidad, casi completamente obstruido. Sigue después, hasta alcanzar la casa de compuertas, un tramo de algo más de 34 m que cuenta —inmediatamente antes de la citada casa— con un aliviadero lateral de dos vanos, regulados por sendas compuertas que podían manejarse desde su parte superior, que permitía restituir las aguas al cauce del Guadalope. A continuación la acequia pasa bajo el edificio desde cuyo interior se regulaba el caudal circulante mediante otras dos compuertas situadas en su muro de aguas arriba y de las que, así mismo, sólo se conservan las correspondientes cajas. Su interior se acondicionó para vivienda del operario encargado de su manejo, pues se observan restos de un hogar (figura 5).

La casa de compuertas aprovecha para su ubicación un abrigo —de unos 200 m de longitud—, en el paredón calcáreo que sirve de estribo a la presa. Por esta razón, la acequia, una vez superada la caseta de regulación y tras un recorrido a cielo abierto de unos 150 m, tiene un nuevo tramo en túnel que permite sa-

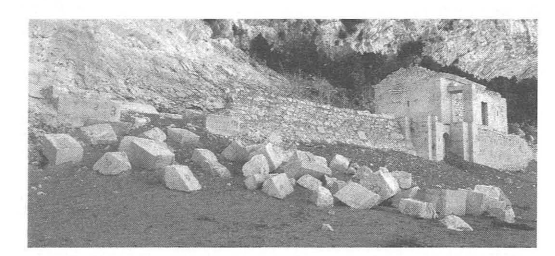


Figura 5
Casa de compuertas

lir del citado abrigo; a partir de este punto se pierde el rastro de la acequia durante unos 800 m. Sobrepasada esta distancia el Guadalope gira hacia el este, obligado por un nuevo macizo calcáreo que se interpone en su cauce. Adosado a este macizo, de frente muy verticalizado, se conservan los restos de un acueducto apoyado sobre arcos de mampostería que se conocen como los Arcos de Lacarra (figura 6). Parece obra inacabada, pues sobre los arcos tan sólo se observa una fábrica de calicanto sobre la que debería apoyarse el canal, del que no quedan restos, seguramente porque no llegó a construirse. Están constituidos por una sucesión de arcos de medio punto cuya fábrica revela, sin duda, su relación con la Presa de La Ginebrosa.

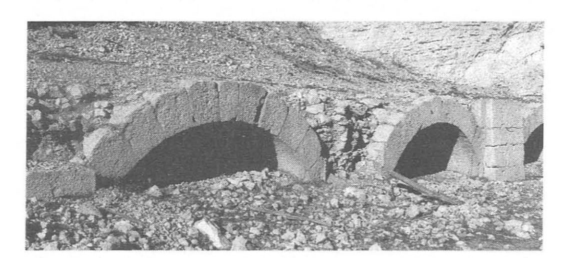


Figura 6
Detalle los Arcos de Lacarra

Pero no sólo no llegó a terminarse la obra de los Arcos de Lacarra, pues hay datos que indican que, muy posiblemente, la presa tampoco se concluyó. Unos 500 m aguas arriba de la presa, remontando el curso del Guadalope, en margen izquierda, se conservan numerosos sillares acumulados caóticamente, aunque perfectamente terminados, que debían estar preparados para su empleo en la obra, y cuyo abandono demuestra que no llegaron a utilizarse. También en la cantera de donde se extrajeron estos materiales, situada en el barranco de La Cañada de la Val —que desemboca en el Guadalope por su margen derecha, aproximadamente un kilómetro aguas arriba de la presa—, quedan numerosos sillares ya labrados y que no llegaron siquiera a trasladarse al punto intermedio antes citado.

Datos históricos de la obra

Referencias bibliográficas

La primera referencia que se ha encontrado sobre la presa de La Ginebrosa, y probablemente origen del resto de las citas posteriores, la da Antonio Ponz,[1] en 1787, cuando escribe:

> Si se perfecciona el gran proyecto de la acequia de riego que piensan sacar del río Guadalope, podrá crecer Calanda y llegar a ser igual a una ciudad, pues en tal caso se regaría siete mil fanegas de tierra. El señor infante envió al arquitecto don Juan de Villanueva para reconocer el terreno y formar su plan. El riego actual es de novecientas, por una parte, y por otra de setecientas, con aguas del dicho río y del que baja de Alconisa.

No obstante lo anterior, y sin duda por haber recibido la noticia después de la redacción de este texto, añade en nota a pie de página: «En mayo del presente año de 1788 se está prosiguiendo con toda actividad la nueva acequia de riego, y se hallaría muy adelantada a no haber sido por el infortunio ocurrido en el mes de octubre del anterior; pues al tiempo que sólo cinco varas para cerrar la magnífica presa de cantería que ya estaba hecha de cincuenta y siente palmos de elevación y ciento veinticinco varas de extensión [lo que corresponde a unos 12 m de altura y 104 m de longitud], fue tal el incremento de agua que tomó el Guadalope, que desmoronando por la parte abierta se llevó ciento dos varas, quedando solamente los apoyos colaterales...»

También Antonio Ponz,[2] en otra referencia, indica que la ampliación de los riegos de Calanda está promovida por el infante don Antonio, quien prestará el dinero necesario para su construcción sin interés al-

guno, proponiendo para su devolución «un rediezmo sobre los mismos frutos que el nuevo riego produzca y en el número de años que mejor les acomode, debiendo aportar su alteza, separadamente, mas de ciento cincuenta y dos mil reales, que, como comendador, se le han repartido para la referida obra».

El resto de los textos localizados referidos a la presa[3] corresponden a autores del siglo XX y aportan escasos datos nuevos sobre lo dicho por Antonio Ponz si exceptuamos lo descrito por Manuel Sanz y Martínez —y también, aunque con menor detalle, por Vicente Allanegui y Lusarreta— en relación con las razones por las cuales no se concluyeron las obras. Transcriben estos autores una tradición popular por la cual la testarudez del entonces alcalde de Calanda, ante la sentencia de un juicio interpuesto por los pueblos situados aguas abajo que le obligaba a compartir las aguas del Guadalope, fue la causa de que el sistema hidráulico de la Presa Antigua de Calanda no llegara nunca a entrar en servicio. Por los motivos que se explican más adelante cabe dudar de la veracidad de esta tradición o, al menos, de que el hecho relatado fuera coetáneo a la construcción de la obra.

Referencias documentales

Se ha realizado una exhaustiva búsqueda en distintos archivos con el fin de conocer con la mayor aproximación posible los avatares que rodearon la construcción de la presa Antigua de Calanda.[4] El legajo más antiguo que hace referencia al planteamiento de una obra de derivación en río Guadalope, en el lugar donde hoy se encuentran los restos de la presa de la Ginebrosa, se localizó en el Archivo Histórico Nacional. Se trata de una «Escritura de licencia sobre construir Azud y Zequia en el término de la Villa de Xinebrosa.»[5] que, aunque tiene fecha de 25 de mayo de 1765, retoma un acuerdo anterior firmado el 1 de noviembre de 1755. Se expresa en él el permiso concedido a los vecinos de Calanda por los de la Ginebrosa «... para poder hacer una represa y azud en el rio Guadalope ... sobre los Fontanales o cien pasos mas arriba, o de allí abajo en cualquier parte de dicho término hasta encontrar con el de Calanda donde les pareciese y tuvieren por mas conveniente poder coger el agua del dicho río Guadalope, formado dicho azud en él de piedra o madera, como lo tuviesen por conveniente, y abrir acequia por dicho término con calzadas... de piedra y cal, abriendo minas o en otras forma para que puedan conducir el agua que apresasen en dicho azud hasta ponerla en el término de dicha villa de Calanda...». Es evidente que la ubicación coincide con la de la presa que nos ocupa por lo cual puede referirse a un azud anterior a ella o a los primeros pasos de su proyecto, el cual, en este caso, no se vería ultimado hasta que recibió el apoyo, tanto político como económico, del infante Don Antonio Pascual.

En el Archivo Diocesano de Zaragoza se consultaron los libros de Visitas Pastorales y de Matriculas Pascuales. De los primeros no se obtuvo ninguna información positiva, pero los segundos, que registran todos los individuos de una parroquia que cumplían con los preceptos de confesión y comunión anual, aportaron interesantes datos sobre la actividad generada por la obra pues, a partir de 1785 (quizás desde 1784 pues no se conservan los datos de este año) y hasta 1792, se relacionan nominalmente las personas que trabajaban en las canteras, en la presa y en la acequia,[6] constatándose que no existió actividad alguna en los periodos anteriores y posteriores revisados (años 1777-1783 y 1793-1800). En este mismo sentido, se encontró una noticia aislada en el Archivo Histórico Provincial de Zaragoza[7] en la que se relata como el médico de Calanda solicita un aumento de sueldo en 1786, como consecuencia del importante incremento de parroquianos que tenía que atender.

La búsqueda de documentación llevada a cabo en el citado A.H.P.Z. incluyó una revisión exhaustiva del Archivo Histórico de Protocolos realizada con el fin de localizar algún dato sobre el juicio que, según los autores citados, fue el origen de la paralización de las obras, pero la búsqueda resultó totalmente estéril, lo que apoya la teoría de que el citado juicio no existió o, al menos, no en los años en los que se estaba construyendo las presa o en los inmediatos posteriores. También se visitaron los Ayuntamientos de La Ginebrosa y de Calanda pero, desgraciadamente, ninguno de ellos conserva archivos de la época.

Los datos más interesantes se encontraron en el archivo del Ayuntamiento de Alcañiz, donde se localizaron documentos que avalaban las noticias referentes a la implicación en el proyecto del infante D. Antonio Pascual y a la intervención de Juan de Villanueva como «director» de la obra de la acequia. Así mismo aporta esta documentación otros datos de interés que se refieren a las condiciones de construc-

ción de los Arcos de Lacarra, al porqué de dicho topónimo y a carácter de *«obra principal»* que se otorgaba a la presa y cuya prioridad sobre las obras de la acequia se reitera sistemáticamente en los documentos. De todos ellos, el que aporta los datos de mayor interés por constituir, de hecho, un pliego de condiciones de la obra de los hoy denominados Arcos de Lacarra, es el fechado el 22 de mayo de 1788, y del que transcribimos a continuación los párrafos más importantes:

> Asiento y obligación de una obra ... Que nosotros Don Vicente Aragonés abogado de los Reales Consejos, administrador general de la Encomienda de Alcañiz, que goza el serenísimo señor Infante Don Antonio Pascual, tesorero depositario del dinero destinado a la obra de nueva Acequia de la presente villa [Calanda] que se construye por ahora con caudales de S.A.R.; Don Bernardo Gracedo, aparejador de Don Juan de Villanueva, director de la referida obra; ...Don Manuel Sanz, interventor de los hacendados de esta dicha villa; y Don Ramón Forquet contador. Con dichas calidades. Por cuanto por órdenes de S.A.R. comunicadas por el señor Don Benito de Aguera y Bustamante, su secretario de cámara, en carta de fecha ocho de diciembre del año pasado de mil setecientos ochenta y siete, y veintitrés de febrero del corriente de mil setecientos ochenta y ocho, a Don Joaquín de Miguel tesorero depositario que fue de los expresados caudales, se mando se sacasen a público subasto las obras que habían de construirse en dicha Acequia en la parte del recodo, luego que se sale del campo del Escribano, hasta cerca de la Cueva de la Arena, para fabricarlas por asiento formalizando previamente las correspondientes condiciones con presencia del plano y demás instrucciones que Don Juan de Villanueva había dirigido a su aparejador Don Bernardo Gracedo y de las que explicaba la citada carta orden de ocho de diciembre del año mas cerca pasado, debiendo ser la primera de dichas condiciones que para tener efecto cualquiera trance o ajuste había de preceder la real aprobación de S.A. a quien se había de consultar el remate, y admitiendo las mejoras que se fuesen presentando por los facultativos que quisieren entrar en la ejecución de las insinuadas obras... se mandó al dicho Joseff Garces leyese y publicase las condiciones con que se iba a celebrar su remate para la mayor inteligencia de los postores facultativos, lo que ejecutó en altas y claras voces, y que diese un pregón haciendo saber a los circunstantes se iba a tranzar la obra con arreglo a los pactos de la capitulación a favor de la persona que hiciese mas beneficio a la fábrica de dicha nueva Acequia, cuyo pregón repitió algunas veces con pausas e intervalos. En cuyo estado por Antonio Lacarra, cantero vizcaíno, residente en esta dicha villa, se dio manda en dicha obra de sesenta y dos reales de vellón por vara cúbica de piedra labrada, arranque, y asiento; de seis reales de vellón y dieciséis maravedís por vara cúbica de mampostería y de tres reales y ocho maravedís de vellon por vara cúbica de desmonte...

Se concedieron las obras a Antonio Lacarra por estos precios y bajo las condiciones que se transcriben a continuación, condiciones que ciertamente se reconocen en los restos que se conservan de los denominados Arcos de Lacarra:

> «1ª primeramente es condición que es el asentista o postor por quien quedare tranzada dicha obra deberá ejecutarla bien macizada de cal y piedra, bien enripiada para que no se filtre el agua, quedando todo a satisfacción de la persona que lo revisare.
>
> 2ª Es condición que los cimientos se han de abrir hasta encontrar tierra firme, y saliendo peña movible se ha de quitar, y si fuere firme se harán sus planos horizontales, haciéndolos en gradas que deberán tener de plano media vara lo menos, y su altura lo que pida la disposición de la citada peña, no pasando de media vara, cuyo desmonte se deberá medir por varas cúbicas.
>
> 3ª Es condición que los arcos hayan de ser de piedra labrada y las dovelas han de tener dos pies, o dos tercios de vara, encima de dichas dovelas se pondrá o enrasará con un pié de hormigón que será el suelo de la Acequia.
>
> 4ª Es condición se hayan de labrar esquinas en los machos de los arcos, con el zócalo, midiéndose en varas cúbicas.
>
> 5ª Es condición que los asentistas o facultativos a cuyo favor se tranzase dicha obra ha de ser de su cuenta arrancar, conducir y sentar la mampostería que se ofreciere en dicha obra, que se medirá por varas cúbicas, ejecutándolo con arreglo al plan que se les presentará por el apoderado Don Bernardo Gracedo, pero en las alturas habrá algunas mudanzas, según el terreno lo pidiere, por cuyo motivo variarán muchos arcos, que se reducirán a menores.
>
> 6ª Es condición que la cal que está fabricada en la otra parte del río, frente al la Cueva de la Arena, la pasarán por su cuenta, y al ajuste se admitirá su coste, o se ajustaría considerando el trabajo hecho y puesto en dicha cal.
>
> 7ª Es condición que la piedra labrada la han de arrancar, conducir y sentar, y se medirán por varas cúbicas las tres clases que componen el todo de la obra, como son desmonte, piedra labrada y mampostería, a las que le darán a cada clase su precio.

8ª Es condición que ha de ser de cuenta del asentista o facultativo a cuyo favor quedase la obra, hacer los andamios dándole para ello la fábrica de maderas necesarias y la misma les pondrá las cindrias y les dará las plantillas que necesiten.

9ª Es condición que mediante no tendrán proporción para presentar las fianzas necesarias el asentista o facultativo a cuyo favor quedase la obra se les quedara a estos en las mediciones el importe de la cuarta parte hasta que parezca haber suficiente caudal detenido por vía de fianza.

10ª Es condición que la fábrica de dicha nueva acequia ha de dar al asentista o facultativo que entendiere en la obra las herramientas de cantería y si le faltase alguna de las que tiene dicha fábrica se les entregará debiendo el otro asentista volver dichas herramientas en el mismo estado que cuando se las entregue la fábrica.

11ª Es condición que ningún trance, contrata ni ajuste ha de ser válido y de ningún efecto hasta tanto que intervenga y sea de la aprobación real de S.A.. Calanda y marzo a ocho mil setecientos ochenta y ocho. Joaquín de Miguel, Bernardo de Gracedo, Manuel Sanz, Ramón Forquet, por mando de sus mnos. Gaspar Dalmao escribano.

Y así mismo, con la expresa y precisa circunstancia de que los asentistas de dichas obras no han de ser los que tienen los destajos y otros trabajos de la obra principal que es la Presa, ni valerse ni echar mano de los demás operarios que están empleados en ella, ni de los que en las oportunas temporadas dein bajas las aguas del río puedan trabajar en dicha Presa para su adelantamiento, sino que deberán llevarse de fuera y ser nueva y distinta compañía de operarios para la ejecución de las expresadas obras, rematadas a favor de dicho Lacarra, sin cuya circunstancia no ha de tener efecto esta contrata...

El resto de los documentos localizados[8] son de menor interés para el tema que nos ocupa pues, o repiten datos ya descritos en éste, o se refieren a asociaciones de Antonio Lacarra con otros canteros, cesiones de la obra, etc.

Por último, y dado el carácter de obra real de la presa de La Ginebrosa y su acequia —puesto que estaba promovida y financiada por el Infante D. Antonio Pascual, interviniendo en ella Juan de Villanueva en su calidad de arquitecto real— se consultaron los archivos del Palacio Real, no habiéndose localizado ningún documento referente a la citada obra.[9]

Conclusiones

Si bien no se han localizado referencias documentales detalladas de la Presa Antigua de Calanda, es posible realizar algunas conclusiones de interés sobre ella y, en especial, sobre su acequia. Éstas son las siguientes:

El sistema de la presa de La Ginebrosa se proyecta para ampliar el regadío del término municipal de Calanda y es promovido y financiado por el Infante D. Antonio Pascual.

Es muy posible que el planteamiento inicial de este sistema hidráulico se remonte al año 1.755.

Las obras se desarrollan entre 1785 (quizás 1784) y 1792. Comenzó construyéndose la presa y después, a partir de 1788, se proyectan y adjudican las obras de la acequia.

El proyecto de la acequia —de la que se conserva los hoy conocidos como Arcos de Lacarra— es del arquitecto real Juan de Villanueva y las obras fueron dirigidas por su aparejador Bernardo Gracedo.

En dicho proyecto la presa se denomina «obra principal», por lo que parece lógico pensar que —por constituir presa y acequia un sistema único— dicha «obra principal» también tuvo que ser proyectada por Juan de Villanueva. Está afirmación queda avalada por los datos aportados por Antonio Ponz en su *Viage de España*.

Las obras de la presa tenían prioridad absoluta sobre las de la acequia, lo que indica que era de mayor interés para el promotor del sistema.

La realización de parte de la acequia, en concreto un tramo que constituía un importante acueducto de más de 100 m de longitud, fue encomendada al cantero vizcaíno Antonio Lacarra, cuyo nombre aún conservan los restos de los arcos que, del citado acueducto, han llegado hasta nosotros. Su fábrica, tal y como hoy la conocemos, se ajusta en gran medida a las condiciones expuestas en la capitulación transcrita y en documentos posteriores.

No se ha podido establecer la causa real por la que se paralizaron las obras y el sistema no llegó a entrar en servicio. La documentación localizada no aporta ningún dato a este respecto. En relación al tema contamos con la información —no comprobada documentalmente— aportada por algunos autores en la que se indica que las obras no se concluyeron como consecuencia de un pleito planteado por los pueblos situados aguas abajo de Calanda —especial-

mente Alcañiz— contra esta población. A pesar de la exhaustiva búsqueda realizada en los archivos —sobre todo de Protocolos Notariales— no se ha encontrado referencia alguna al citado juicio por lo que es muy posible que no existiera, o al menos que, de existir, no fuera coetáneo —tal y como parece deducirse de los textos estudiados— a la construcción de la presa, ni tuviera lugar en los años inmediatamente posteriores. En este sentido cabe la posibilidad que la tradición oral a la que se refieren los autores citados recoja un pleito más tardío planteado a raíz de un intento posterior de poner en servicio el sistema aprovechando los restos que de él se conservaban.

Es probable que el abandono de las obras tuviera relación con alguna avenida importante del Guadalope que obligara económicamente —y quizás también técnica y políticamente—[10] a desestimar definitivamente el proyecto. Antonio Ponz cita una en 1787 que, según los datos aportados por el autor, deja la presa en una situación muy similar a la que ha llegado hasta nosotros. Sin embargo, la documentación constata que las obras continuaron hasta 1792 y que, además, el proyecto seguía vigente pues las obras de los Arcos de Lacarra se adjudican en 1788-1790 y su construcción se realiza con posterioridad a estas fechas. Es posible, por tanto, que lo que se reconstruyera de la presa fuera nuevamente arrasado por una avenida posterior que, de nuevo, sólo dejara en pie los estribos. En este sentido hay que señalar que los aliviaderos proyectados para la presa, y así parece desprenderse de los restos que se conservan, fueran insuficientes para permitir el paso de una avenida importante del Guadalope.

Por tanto, y como conclusión final, hay que destacar la importancia del proyecto que se planteó a finales del siglo XVIII para ampliar los riegos de Calanda, proyecto promovido desde la realeza y encargado a Juan de Villanueva, arquitecto real de la época. El sistema, que estaba constituido por una importante presa y una no menos importante acequia, no llegó a concluirse por razones que no han podido esclarecerse hasta el momento.

Por lo que respecta a los restos conservados cabe destacar la magnífica factura que presentan tanto la presa como a los Arcos de Lacarra, único vestigio que ha llegado hasta nosotros de la acequia. Las características de la construcción de ambas obras avalan, no sólo la importancia de concepción del sistema, sino también la intervención en su proyecto de un arquitecto de la categoría de Juan de Villanueva.

Notas

1. Ponz, A.: *Viage de España*. Madrid, 1787. Tomo decimoquinto, párr. 70.
2. *Op. cit.* Tomo undécimo.
3. García Millares, Fray M. O.P.: *Historia de Calanda*. Valencia, 1969, pp. 178-179. Sanz y Martínez, M.: *Calanda, de la edad de piedra al siglo XX*. Reus, 1970, pp.28-29. Allanegui y Lusarreta, V.: *Apuntes históricos sobre la historia de Calanda*, p. 32 (Doc. inéd., 1921; publ. 1998, Ayuntamiento de Calanda, Parroquia de la Esperanza de Calanda e Instituto de Estudios Turolenses).
4. La investigación ha sido realizada por Susana Lozano García y José Luis Hernández Cortés, licenciados en Geografía e Historia por la Universidad de Zaragoza, bajo la dirección de D. Angel Sesma Muñoz, Catedrático de Historia Medieval de dicha Universidad.
5. A.H.N. Ordenes Militares, San Juan de Jerusalén, Encomienda de Castellote, caja 8.230[3], leg (262) nº 31.
6. Recogen las Matrículas Pascuales los nombres de los parroquianos agrupados por las actividades que desarrollaban. Así, en 1785 se cuentan quince «Peones de la fábrica»; en 1976 no hay datos; en 1987 son veinte «los que trabajan en la Azud de Calanda» y siete los «Forasteros canteros»; en 1788 los «Peones de la presa» suman ocho y los «Canteros» dieciocho; en 1798 hay once «Forasteros de la Azud» y treinta y seis «Canteros»; en 1790 sólo figuran canteros, pero se distingue entre los que denominan simplemente «Canteros», que eran quince y debían de ser los que trabajaban para la presa, y los «Canteros de Lacarra» que, en número de dieciséis, han de corresponder a los empleados por Antonio Lacarra en la construcción de los arcos; en 1791, bajo un único epígrafe de «Canteros y peones» se citan sesenta y cinco trabajadores y, en 1792, último año en el que las listas constatan actividad en las obras, se nombran veintiséis personas bajo el mismo y único título que el año anterior: «Canteros y peones».
7. A.H.P.Z. Real Acuerdo, Alcañiz, año 1786, nº 5, caja 1.354. Según esta noticia, y como consecuencia del aumento de población sufrido por la localidad de Calanda con motivo de las obras de una acequia promovida por el Infante D. Antonio Pascual, el médico solicita aumento de sueldo.
8. Archivo de Protocolos de Alcañiz, Protocolo 227, Ca-

landa, fols. 151r-153v; 224v-225v; 232r-233r y 247r-247v.

9. Por lo que respecta a la búsqueda de información en los archivos del Palacio Real hay que anotar que cabe la posibilidad de que exista alguna documentación que no ha podido ser localizada debido a que gran parte de los legajos referentes al Infante D. Antonio Pascual se encuentran sin catalogar.

10. En este sentido hay que citar que, tal vez, influyeran los cambios políticos que tienen lugar en estos momentos a raíz de la muerte en 1788 de Carlos III y la sucesión en el trono de Carlos IV.

Análisis de los sistemas constructivos del Palacio-Santuario de Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz)

Francisco Hernández Alfranca
María Victoria del Pozo González
Ignacio Anta Fernández

Descripción del monumento

El Palacio-Santuario de Cancho Roano (figura 1) fue descubierto por el doctor J. Maluquer de Motes en el año 1978, siendo datado por los investigadores, a partir de los restos encontrados, en del siglo VI y V a.C. durante la época post-tartesia. El complejo actual ocupa 1.600 metros cuadrados de superficie, ubicando el edificio principal, sus estancias perimetrales y un foso. Actualmente, pertenece al término municipal de Zalamea la Serena, en la provincia de Badajoz.



Figura 1
Vsta aérea del yacimiento

El edificio principal

Sobrelevado del terreno, se levanta un edificio de paredes de adobe. Un patio cuadrado enmarcado por banquetas de piedra abre la entrada al santuario, en el interior (H-1), una escalera en recodo, realizada en adobe, alcanza la terraza de piedra que rodea el edificio y desde donde se accedería a una planta superior hoy desaparecida. El interior se distribuye en tres zonas bien diferenciadas unidas por una gran habitación (H-2), transversal al edificio. En el lado sur, se disponen los almacenes, conformados por las estancias H-8, H-9 y H-10.

Por el lado norte, se da paso una habitación alargada (H-3) desde la que se organizaban tres pequeñas estancias interpretadas como las habitaciones de los moradores del santuario. Desde la terraza, 2 m. por encima de la planta general, se levanta una estancia ligeramente rectangular que es el verdadero espacio sacro del complejo. Dentro de la misma, centrando el espacio, un gran pilar prismático se proyecta desde el suelo hasta la planta superior, señalando el punto sagrado de todo el conjunto.

Una de las habitaciones (H-11) está enlosada con lajas de pizarra; del mismo material se enmarca el patio exterior y los canales de desagüe del complejo.

Las estancias perimetrales

Están separadas por medio de un *témenos* de dos metros de altura, que recorre todo el edificio. El suelo

del edificio principal está sobreelevado en algo más de un metro del pavimento de estas estancias. Las nuevas construcciones adoptan la forma de estrecha nave longitudinal, de unos tres metros de anchura, que se encuentran aisladas entre sí y sólo comunican con el exterior mediante puertas que dan al témenos.

El acceso al edificio se compone de un pasillo, flanqueado por dos torres poligonales, suavemente inclinado que termina en dos grandes peldaños que conducen al interior del complejo, a través de un patio (H-12) y de una terraza enmarcada por banquetas de piedra.

El foso

Todo el complejo monumental está rodeado por un gran foso excavado, bajo el nivel freático, en la roca granítica y sólo interrumpido en el lado oriental para permitir la entrada. El foso se alimenta de una vena de agua que recorre todo el yacimiento.*(figura 2)*

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO. FACTORES GENERALES

Según Maluquer y Celestino, en las épocas de esplendor de su historia, el Santuario de Cancho Ruano fue sometido a diferentes actuaciones de remodelación y de ampliación, superponiéndolas a las anteriores construcciones; por ello, es difícil fijar las pautas del análisis de la construcción, como en el caso de la cimentación, que varía según el punto en el que nos situemos, o bien la variedad de materiales y las diferentes técnicas constructivas utilizadas en el conjunto.

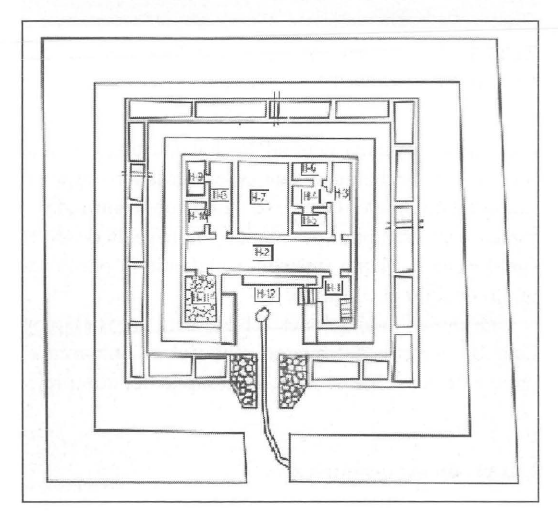


Figura 2
Plano de planta general

El Palacio

Cimentación

Se ha verificado una anchura de cimentación de entre setenta y noventa centímetros, sobresaliendo diez o quince centímetros más que el espesor del muro. La profundidad de zanja entre sesenta centímetros y un metro diez, según la zona del edificio medida. Esta cimentación se encuentra realizada en canto rodado, presumiblemente del arroyo cercano, teniendo un tamaño de entre quince y veinticinco centímetros de diámetro. No se observa ninguna técnica de cimentación, como piedra en rama o similar, ya que no se estratifica el tamaño, siendo relativamente parecido el de todas las piedras. Este tipo de cimentación recorre todo el santuario (figuras 3 y 4).

Muros

Los muros del edificio están realizados en adobe, y todos, con el mismo espesor, son estructuralmente

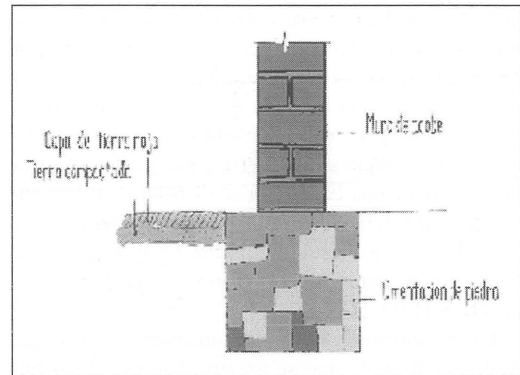


Figura 3
Esquema de cimentación



Figura 4
Cimentación bajo muro

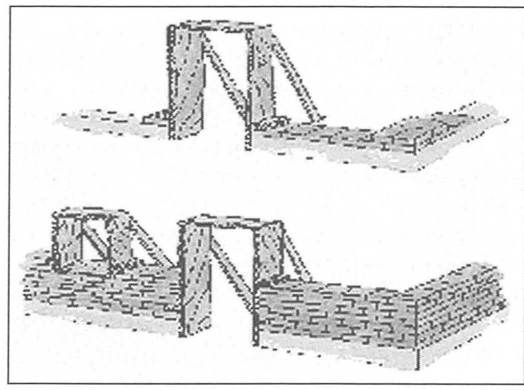


Figura 6
Esquema de arranque de muro

todos de carga. El muro se elabora colocando los adobes con una pequeña capa o tostada de barro entre ellos, lo que le confiere un pequeño grado de ligazón. No se encuentran diferencias entre los métodos de fabricación de los adobes de la época del santuario y la forma tradicional actual, realizándose con barro y paja, denominándose hormigón de golondrina (figuras 5 y 6).

Son moldeados a mano con bastidores de madera y no eran cocidos sino simplemente secados al sol. Tienen unas dimensiones, medidas sobre el terreno, de treinta y siete centímetros de soga, por veintinueve de tizón y seis de grueso, dando un espesor de muros de sesenta centímetros. El aparejo de los muros es extremadamente simple y no muy correcto para las técnicas constructivas actuales; consta de lo que podemos denominar dos aparejos a soga de «medio pie» juntos, dejando entre ellos una junta central en el muro. La aparición de esta junta central, deja una zona de debilidad en el muro, pero dada la escasa altura del edificio y el gran espesor de los muros, perece ser suficiente. Estos muros apoyaban sobre los cimientos, siendo estos entre diez y quince centímetros más anchos que el muro, siendo correcto el asentamiento, la transmisión de cargas y el aislamiento de la humedad (figuras 7 y 8).

Cubierta

En el terreno apenas hay ningún indicio del tipo de cubierta que pudo existir, porque al ser quemado el

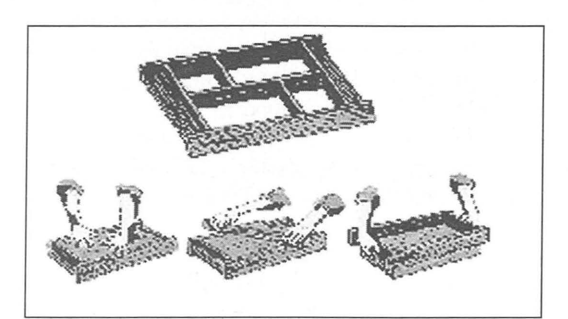


Figura 5
Esquema de fabricación de adobes



Figura 7
Junta central en muro

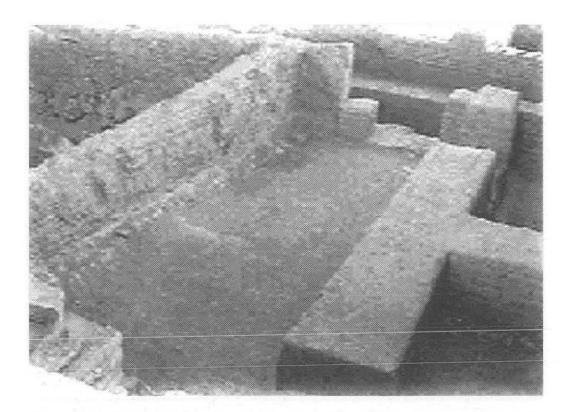


Figura 8
Muros, reconstruidos e intactos

santuario cuando se cerró, todo se vino abajo con él. Por ello el análisis de la cubierta se ha realizado de las obras de los profesores Maluquer y Celestino (figura 9).

No se han hallado restos de columnas o pilares, ni de madera, suficientes como para evidenciar la existencia de cerchas que permitieran suponer un techo formando aguas; por el contrario, se encuentran restos suficientes como para apostar por una cubierta de viguería plana o una solución de terrado. Ésto viene determinado, ya que la anchura de todas las dependencias en el piso principal nunca rebasa los tres metros treinta centímetros. Por otra parte, la idea general del edificio, sin duda corresponde a los modelos del mediterráneo oriental, de Siria o del Egeo. Basándose en esta solución de terrado, el sistema constructivo de esta cubierta plana sería el formado por troncos a modo de vigas, y el espacio entre ellos sería cubierto por una capa de cañizos y ramajes, o pequeños rollizos, cubriendo todo el espacio, que servirían como base para recibir la capa de tierra de unos cinco centímetros de espesor, que remataría la cubierta, con una pequeña pendiente casi imperceptible hacia el exterior donde habría pequeñas salidas de agua (figura 10).

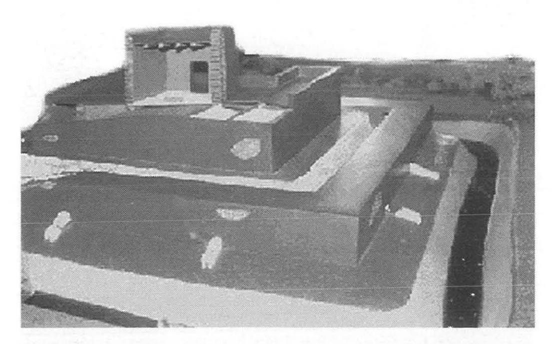


Figura 9
Maqueta abierta por la cubierta (Ayto. de Zalamea de la Serena)

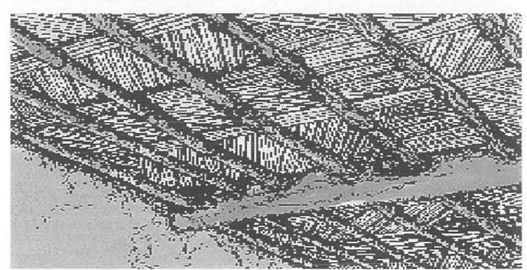


Figura 10
Esquema de construcción de cubierta

Estancias perimetrales, desagüe y foso

El terraplén está constituido por una acumulación de granitos descompuestos (balastro), apelmazados contra la pared externa de la nave. Las técnicas constructivas de las estancias perimetrales y los materiales son las mismas que las descritas para el palacio, aunque más descuidadas, También es común a todas las estancias la presencia de un estrato de cenizas confirmando su destrucción por un incendio. Por las reducidas dimensiones de los espacios, la falta de articulación funcional y la presencia de elementos rituales hace pensar que estas cámaras podrían ser interpretadas como capillas de ofrendas (figura 11).

También se detectaron sobre el terreno, elementos inéditos para la época, en lo referente a la arquitectura urbana, como son la presencia de canales de desagüe, que revelan la preocupación por problemas tales como el drenaje. Tres de las estancias se hallan surcadas por canales de desagüe, lo que en principio impediría cualquier otro uso. Los canales están construidos en piedra y recogen el agua evacuada al témenos por las gárgolas de la supuesta cubierta plana, esta es llevada a través de ellos bajo las estancias

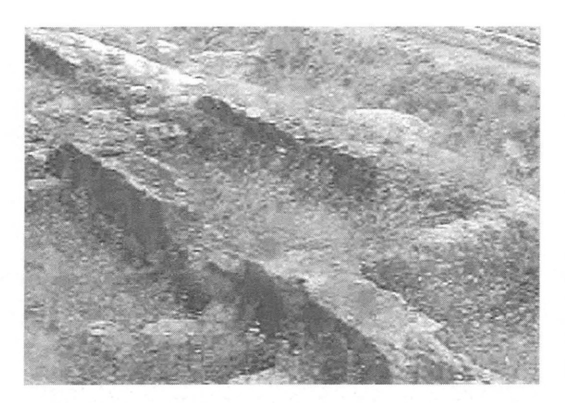


Figura 11
Planta de estancia perimetral

perimetrales para soltarla en la pendiente contigua que da al foso.

Estos canales están formados por «cajas» de piedra de granito o lajas de pizarra, de unos cincuenta centímetros de anchura, en los que predomina su dimensión superficial, siendo selladas las juntas con barro y arena. Demuestran una preocupación por el desalojo de las aguas y un adelanto urbanístico en la concepción del santuario (figuras 12 y 13).

El agua evacuada iba a parar al foso perimetral, que hace de cinturón para el complejo dándole al conjunto aspecto de hermeticidad por reducir el acceso a la puerta principal, y dar la solemnidad requerida a un conjunto de aspecto religioso y palaciego (figura 14).



Figura 12
Boca de canal de desagüe



Figura 13



Figura 14
Foso perimetral

Revestimientos, solados y enfoscados

El edificio principal del santuario estuvo rematado por diferentes sistemas: los paramentos interiores,

fueron enfoscados con caolín blanco, proyectado sobre los muros de adobe y alisado con alguna herramienta de la época, parecida a la llana actual, dando mas luminosidad al acabado. Un tipo similar de enfoscado revistió los paramentos exteriores, con la única diferencia de que este estaba coloreado con pirofirita roja (figura 15).

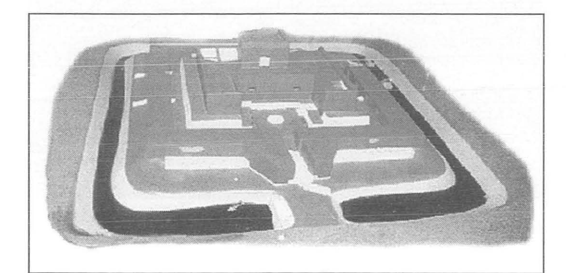


Figura 15
Maqueta del santuario

Los suelos estaban formados por una capa de tierra compacta, lisa y nivelada. Su terminación cumplía un aspecto estético y funcional, dependiendo de que se tratara de estancias almacén o del resto.

Las estancias almacén (H-11) estaban soladas con lajas de pizarra, tomadas con una capa de barro sobre tierra compactada, probablemente para aislar los cereales almacenados de la tierra y la humedad y su posible germinación. El resto de las estancias se rematan con una arena fina tamizada con algún tipo de tamiz antiguo, y agregando al producto, pirofirita roja pulverizada, resultando así una capa de tierra batida coloreada de rojo (figuras 16 y 17).



Figura 16
Suelo de pizzarra



Figura 17
Suelo de tierra batida

Bibliografía

Actas del VI Congreso de Estudios Extremeños. Mérida, 1979.

Castros y oppida en Extremadura.

Celestino Pérez, Sebastián: *El Santuario de Cancho-Roano; el sector norte.*

Celestino Pérez, Sebastián: *1ªs Jornadas sobre Arqueología y Patrimonio en La Serena,* Castuera 19 y 20 diciembre de 1997.

Enciclopedia de Civilizaciones Ibéricas Protohistóricas.

Extremadura arqueológica IV.

Extremadura arqueológica V.

Guía Informativa Municipal de Zalamea de la Serena.

Maluquer de Motes, J.: *Programa de investigaciones protohistóricas el Santuario de Zalamea de la Serena.*

Apuntes de la Cátedra de Historia de la Construcción, E.U.A.T.M

Nota

Este texto es un extracto de un trabajo monográfico de curso realizado por el alumno Francisco Hernández Alfranca, para la asignatura de Historia de la Construcción en la E. U. de Arquitectura Técnica de Madrid, dirigido por la profesora Mª Victoria del Pozo González, con el asesoramiento informático del profesor Ignacio Anta Fernández; resume el trabajo de campo realizado a pie del yacimiento, el análisis de las obras de los doctores J. Maluquer de Motes y S. Celestino Pérez, contando con la inestimable colaboración del licenciado en Ciencias de la Información por la rama de Imagen y Sonido y gran amigo, Raúl Cuadrado Martín.

Los autores agradecen a Pedro Dávila, gran conocedor de la historia de la comarca de la Serena, y del Santuario de Cancho-Roano, la información proporcionada durante las entrevistas concedidas.

Intervenciones en el Real Alcázar de Sevilla durante la Segunda República

Ángeles Herrera Saavedra
Vicente Flores Alés

La República, instaurada en España el 1º de abril de 1931, pronto quiso que el pueblo disfrutara de los bienes que la Monarquía Borbónica había poseído; así, en el decreto que aparece en la Gaceta de Madrid del día 20 de ese mismo mes, el Gobierno provisional cede al Ayuntamiento de la capital los terrenos de la *Casa de Campo* y el *Campo del Moro*, para parque de recreo e instrucción de sus habitantes. Tan sólo dos días después, el 22 de abril, ese mismo Gobierno dicta un nuevo decreto por el que cede «al Municipio de Sevilla el Alcázar y sus jardines correspondientes, y al de Barcelona el que fue Palacio Real de Pedralbes».[1]

La cesión fue recibida en el Cabildo hispalense con polémica, como refleja el acta del pleno del día 29 de abril, ya que las arcas municipales se encontraban en una situación precaria tras la celebración de los fastos de la Exposición Iberoamericana de 1929 y la supresión por el ministerio de Hacienda de la subvención establecida por el gobierno en favor de tal evento; más aún cuando el decreto del 22 de abril establecía que sólo se cedían por el Gobierno el recinto del Alcázar y sus jardines, pero no las fincas urbanas que constituían parte del patrimonio que la monarquía tenía en la ciudad hispalense y que conformaban el 75% del total del presupuesto de ingresos del Palacio. A pesar de las reticencias, el 26 de junio una comisión creada por el cabildo para el estudio de la cesión informa de la conveniencia de la misma, sin perjuicio de que se continuaran las gestiones iniciadas en el Gobierno para que se cedieran los demás bienes del extinguido patrimonio de la Corona en la ciudad.

La cesión oficial se realizó el 31 de octubre de 1931, representado el Gobierno por el Ministro de Comunicaciones, el sevillano Diego Martínez Barrios. Tras la toma de posesión, se realizó una visita oficial al Palacio por parte del alcalde, señor José González y Fernández de la Bandera, el vicepresidente de la Comisión de Monumentos, Cayetano Sánchez Pineda, el delegado de Hacienda, Bonifacio Soriano, y el director-conservador, Alfonso Lasso de la Vega.

La visita permitió realizar una inspección ocular del monumento que confirmaban una serie de reformas que mermaban el edificio. Como relata el diario *El Liberal*, en un suelto del día 1 de noviembre :

He aquí lo segregado por el procedimiento de la tapia:

- — almacén del fondo del patio del tenis.
- — el citado patio y las habitaciones que le rodean.
- — de la casa de la Alcaldía todos los servicios: cocina, lavadero, etc.
- — con otras habitaciones de la citada casa donde estaba el archivo también se ha convertido en casa de vecindad.
- — el torreón que unido a la citada casa sirve de comunicación con la galería de grotescos.
- — algunos otros departamentos han sido tapiados en sus entradas naturales en el Alcázar y abiertas puertas a la calle.

En la misma puerta del Alcázar, a su derecha hay otras dos tapias que hurtan unas habitaciones que se convierten así en casa de vecinos

La persona responsable del edificio hasta la fecha de la entrega al Ayuntamiento sevillano, fue el delegado de Hacienda Bonifacio Soriano, responsable de la Comisión de incautación de los bienes de la Corona en la provincia de Sevilla; su misión, la custodia, conservación y administración de los mismos. Parece que, durante este período, la Comisión de Monumentos realizó una visita al Palacio en el mes de abril y se comprobó el inventario; asimismo, se realizaron algunas obras y se enviaron diversos enseres a Madrid. Sin embargo, no se dispone de documentación que permita conocer dichos hechos ante el vacío documental que de este período tiene el Archivo de la Delegación de Hacienda de la Provincia de Sevilla. En una entrevista al diario *El Liberal* de Sevilla, el delegado de Hacienda declaraba que de lo incautado se había enviado notificación al alcalde de la ciudad.

Pero de estas reformas nada conocía ni el Ayuntamiento, ni la Comisión de Monumentos, ni había sido consultada la Inspección provincial de Bellas Artes.

La repercusión de este hecho se plasmó en una decisión de los responsables municipales por la que para cualquier reforma que fuera a efectuarse en el edificio palatino sería necesario el asesoramiento de la Comisión Provincial de Monumentos, la Academia de Bellas Artes y las instituciones de la ciudad que tuvieran relación con lo artístico.[2]

Así lo comunicó el alcalde hispalense en la reunión a la que asistió de la Comisión Provincial de Monumentos manifestando que el Ayuntamiento —en palabras del alcalde— «se encuentra con un monumento de su custodia que es una maravilla y dada su importancia cuenta con esta comisión para todo lo que se pueda relacionar con su conservación y quiere llegar a una tan grande compenetración entre este Ayuntamiento y la Comisión que siempre este asesorado por la misma para todo lo que pueda ser beneficioso a la conservación de tan maravilloso monumento».[3]

En esta misma sesión, informa sobre las obras que se habían realizado confirmando que las mismas se habían ejecutado en parte de las viviendas que conservaba el Estado y, por lo tanto, el conjunto monumental no había sufrido daño.

Con todos estos precedentes, durante los años de la República se acometieron diversas actuaciones en el continente del Alcázar que incluyeron desde la ubicación de un kiosko para venta de recuerdos en el Patio de Banderas a las reformas del Patio del León para acondicionamiento de un acceso para visitantes.

Un kiosco en el Patio de Banderas

Una de las construcciones que más polémica creó durante estos años fue la instalación de un kiosco en el Patio de Banderas, junto a la puerta de acceso al Alcázar en la barreduela que allí se forma. Según la documentación conservada en el Archivo Municipal de Sevilla, en 1932 se produce una petición por Paulino Echevarría par instalar un kiosco para venta de películas kodak, postales y recuerdos de Sevilla.[4] Esta solicitud fue denegada por la Comisión de Régimen del Alcázar el 9 de enero de 1933.

A pesar de esta negativa, en el Cabildo se produce una protesta por el señor concejal Manuel Bermudo por la instalación de un kiosco en dicho emplazamiento, constituyendo un atentado contra el urbanismo.[5] El alcalde le informó que dicho establecimiento se había autorizado por el Consejo de Administración de Patrimonio de la República, que era el organismo que ostentaba la propiedad de ese espacio. Sin embargo, se había presentado por parte del Ayuntamiento una reclamación, ya que dicha autorización no le había sido consultada y se consideraba lesionado en sus derechos, al asumir la Corporación municipal con los gastos de mantenimiento y conservación de dicha vía pública.

A pesar de estas aclaraciones del alcalde las protestas no se acallaron y se repiten en las siguientes sesiones del Cabildo y en la Comisión de Monumentos, que decide elevar una protesta ante el Director General de Bellas Artes.[6]

Insistentemente, el señor Bermudo Barrera repite sus airadas protestas.[7] En una de estas protestas, se le recuerda al concejal que el levantamiento de dicho kiosco se produciría en el momento en que el Patio de Banderas pasara a jurisdicción municipal.[8] Como ya se ha referido anteriormente, el antiguo patio de armas pertenecía al Estado. En 1933, se aprobó por las Cortes una Ley de Patrimonio de la República (26 de junio de 1933) por la que el Gobierno cedía a los municipios la propiedad calles, plazas y vías, previa

aprobación del Ministerio de Hacienda. Dicha ley excluía los terrenos que formaran parte de jardines históricos y artísticos. En estos momentos el Ayuntamiento hispalense reclamaba al Ministerio de Hacienda la propiedad del suelo del Patio de Banderas. La petición, gestionada en los momentos en los que el concejal Bermudo Barrera realizaba su solicitud, obtuvo la negación para el traspaso de propiedad basándose en la excepción que la ley preveía.[9]

Ante tal negativa la lucha para la erradicación de dicho kiosco se estableció en el plano legal. Se planteó la posibilidad de ilegitimidad en el cobro de las tasas por aprovechamiento especial. Parece que existió un expediente sobre esta cuestión en el Negociado del Alcázar con el número 19 bis de 1934; sin embargo, está desaparecido. Tan sólo se tiene referencia de este asunto en la Comisión de Régimen del Alcázar donde se comunica un informe de la Jefatura de Propiedades sobre dicho asunto en el que se afirma que no era procedente la aplicación de dichas tasas, quedando sobre la mesa.[10]

Cerrada esta vía se intentó de nuevo la petición del Ayuntamiento sevillano ante el Consejo de Administración del Patrimonio de la República para que procediera al levantamiento de dicho kiosco.

Las presiones debieron ser fuertes porque el 30 de abril de 1936 se recibe en el Ayuntamiento una petición de Napoleón Francisco Cortés Fernández, propietario del kiosco del Patio de Banderas, por contrato desde 1933 y durante diez años con el Consejo de Administración del Patrimonio de la República. En dicha solicitud plantea: «Que ha llegado a su conocimiento que ese Excmo. Ayuntamiento acordó gestionar desaparezca el referido kiosco, de su actual emplazamiento, por entender que en las cercanías del citado monumento no debe existir construcción alguna que desdiga de las características del mismo con indudable perjuicio del fomento del turismo local».[11]

Ofrecía el señor Cortés ser indemnizado con quince mil pesetas y obtener del Ayuntamiento un emplazamiento para el subarriendo de otro kiosco en lugar adecuado de la ciudad. Todo ésto lo cuantificaba como mal menor para el Ayuntamiento al que supondría una carga excesiva la realización de una expropiación forzosa por utilidad pública.

La propuesta de Napoleón Cortés fue estudiada por la Comisión de Régimen del Alcázar el 19 de junio de 1936 siendo desestimada.

Esta solicitud es el último dato que en este período se conserva del polémico kiosco establecido en el Patio de Banderas.

Obras en la casa número 11 de la calle San Fernando

Una denuncia del concejal José Jiménez Gómez provocó la apertura de un expediente por la situación que exponía: la apertura de nuevos huecos en la pared medianera de la casa número 11 de la calle San Fernando, lindante con los jardines del Alcázar.[12] En dicha reunión se decidió pedir informes a la Asesoría Jurídica del Ayuntamiento, tras el realizado por la Sección de Vías Técnicas, Obras y Parques que se había presentado en dicha Comisión y donde se establecía que la pared que separa ambos predios presenta signos aparentes que hacen presumir es medianera entre ellos hasta la altura de un vuelo de tejado existente y desde esa altura pared propia correspondiente a la casa de la calles San Fernando.

En la parte que consideramos como medianera, en tanto no existe documento o títulos que demuestren lo contrario, están abiertas cuatro ventanas; dos de ellas no muestran señales recientes de alteración, en cambio las otras dos parece que han sido alteradas en época reciente, en sus dimensiones la de la parte inferior derecha y quitando alguna pantalla que impidiera las vistas la de la parte superior derecha.[13]

Según el informe, las denuncias del concejal Jiménez Gómez tenían fundamento. Se habían reformado dos de los vanos de ventana de dicho edificio lindante con el jardín del Alcázar.

El informe que la Comisión de Régimen del Alcázar había requerido a la Asesoría Jurídica del Ayuntamiento se realiza el 7 de junio de 1934, en el se establece por el letrado como requisito imprescindible el conocimiento de la fecha y forma en que se había producido dicha obra, las personas que lo realizaron y testigos que pudieran corroborarlo.

Alfonso Lasso de la Vega se encargó de buscar a los testigos que confirmaran los hechos. Los encontró entre el personal del Alcázar: Ciriaco Huesa Bercenoguy, antiguo conserje del Alcázar; Miguel León Álvarez, jardinero mayor y Francisco Castro Espejo, vigilante nocturno. Dichos testigos declararon que los vanos a los que se hacía referencia se abrieron el septiembre de 1931; observados los mismos por el perso-

nal del Alcázar se dio parte al sargento y cabo de los carabineros de servicio en el palacio, que dieron parte a su jefe superior y este a la autoridad competente en esos momentos en el Alcázar, el Delegado de Hacienda provincial. Ambas autoridades realizaron una visita de inspección y dieron orden para que las obras no continuasen. Los tres testigos confirmaban que desde entonces no se había modificado dicha reforma.

Este testimonio se apoyaba también por un informe del director-conservador en el que añadía que no se conocían las personas que habían efectuado la obra en cuestión.

Con todos estos informes la Asesoría Jurídica del Ayuntamiento no creía posible ejercitar ninguna acción de interdicto ante el tribunal al haber prescrito por el transcurso del plazo establecido de un año por la Ley de Enjuiciamiento Civil. Tan sólo veía posible ejercitar la acción negatoria de servidumbre para reponer las cosas al Estado en que se encontraban antes de la perturbación que suponen las alteraciones que han motivado este expediente: ahora bien, como la propiedad es el derecho de gozar y disponer de una cosa, sin más limitación que las establecidas en las leyes y el Excmo. Ayuntamiento de Sevilla tienen limitado su derecho de disponer del Alcázar, ya que la cesión que del mismo le había sido hecha, condicionando y limitando su dominio, con absoluta prohibición de cercenar el área actual del inmueble y sin poderlo dedicar a otros usos que los que expresamente se señala y ello pudiera suponer una relación jurídica más parecida al usufructo que a la propiedad y el Código Civil en su artículo 511 determina que los usufructuarios estarán obligados a poner en conocimiento del propietario cualquier acto de un tercero que tenga noticia, que sea capaz de lesionar los derechos de propiedad y responderá, si no lo hiciera, de los daños y perjuicios como si hubieran sido ocasionados por su culpa, consignándose en la doctrina del Tribunal Superior, deducida, entre otras sentencias, de la de 22 de octubre de 1902, que sólo cuando el usufructuario ignore quien es el propietario puede ejercitar las acciones que aquel correspondieran y, por tanto, la negatoria de servidumbre, estima el letrado que suscribe que procede adoptar el acuerdo por parte de la corporación municipal de notificar al Ministerio de Hacienda las alteraciones verificadas en los huecos de la pared medianera de los jardines del Alcázar, por si estima procedente el ejercicio de la repetida acción negatoria de servidumbre.[14]

Así se produce y el Cabildo hispalense envía dicho informe al Consejo de Patrimonio de la República, quién solicitó (5 de octubre de 1934) copia del expediente para enviarlo al Director de lo Contencioso del Estado, que resolvió el 9 de febrero de 1935 ejercitar la acción negatoria de servidumbre contra el propietario de la casa número 11 de la calle San Fernando, a fin de que sea obligado a reponer la pared medianera al estado en que se encontraba antes de abrir los huecos que se indican, y el abono de daños y perjuicios. Decidió, asimismo, que el encargado de efectuar dicha acción era el Delegado de Hacienda, a quién informó de ello la Comisión de Régimen del Alcázar el 27 de abril de 1935, resolviéndose así este litigio.

Derribo de un muro en la casa número 11 del Patio de Banderas

En el diario *El Liberal* de Sevilla[15] (1 de noviembre de 1931) se hacía referencia a aquellas personas que por el procedimiento de la tapia se habían segregado por la Delegación de Hacienda del Alcázar para separa la zona Patrimonio de la República de aquellas que se cedían al Ayuntamiento sevillano. En este artículo se hace referencia a la casa número 11 del Patio de Banderas, a la que se había unido parte del actual jardín de la Alcubilla, donde en tiempos de Alfonso XIII se había construido la primera pista de tenis de España.

Parece que durante el año 1933 se había derrumbado un muro que separaba dicha vivienda del recinto alcazareño. Conocido este derrumbamiento por el Consejo de Administración de la República solicitaba el 2 de septiembre de 1934 que quedando abierta la puerta que al hacer la cesión de este —el Alcázar— había tapado; y suponiendo que este hecho es desconocido por V.E., espera este Consejo se servirá disponer que vuelvan a ponerse las cosas en el mismo estado en que se encontraban, sin que este ruego signifique menoscabo de los derechos que pueda ejercer este Patrimonio de la República.[16]

Alfonso Lasso de la Vega se apresuró a solucionar esta cuestión y el día 8 de ese mismo mes informa al Consejo de Administración de Patrimonio de la República que lo derrumbado no era un muro, sino un simple tabique de mala fábrica,[17] y que ya se había iniciado su recuperación con lo que se conseguía de

nuevo el aislamiento de la vivienda con el Alcázar como celosamente había requerido el Patrimonio de la República.

La escuela infantil

Desde los primeros momentos en que se discutía en el Cabildo hispalense la aceptación de la donación del Alcázar por el Estado se planteó por parte del concejal señor Fernández Ballesteros la necesidad que tenían las escuelas pedagógicas modernas, orientadas a la enseñanza al aire libre de terrenos para su creación y como ello lo podría remediar los jardines del Alcázar.

En esa misma sesión capitular la Junta Local de Enseñanza eleva al Ayuntamiento la propuesta de creación de una escuela infantil en uno de los pabellones de los jardines del Alcázar.[18]

Estudiada la proposición por el concejal Fernández Ballesteros, considera que la zona más adecuada para instalar la escuela infantil está en la parte del Alcázar que linda con los Jardines de Murillo. Donde existía una franja de mil metros cuadrados apartada de la vista del público, separada del resto de los jardines por una espesa cortina de arbustos, ocupada en parte por construcciones destinadas a garaje y que no aumentaba el atractivo de los jardines.[19]

La Comisión Provincial de Monumentos emitió un informe a petición del Excmo. Ayuntamiento en su sesión de 22 de enero de 1933 (pp. 6-8) en la que se presentaba el proyecto del arquitecto municipal Juan Talavera.

En dicha sesión el Presidente, Cayetano Sánchez Pineda, recordó que en la reunión celebrada por dicha comisión el 7 de junio de 1932 habían acordado ser contrarios a que se realizaran obras en el Alcázar que pudieran menoscabar en lo más mínimo su carácter arqueológico

Juan Talavera, presente en la reunión, defendía el proyecto manifestando que los garajes situados al fondo de los jardines del Alcázar son de hormigón armado, señalando que delante de ellos hay estercoleros que ofrecen un aspecto lamentable. Añade que no ve inconveniente en que por la Comisión se acceda favorablemente a lo interesado por el Ayuntamiento, siempre que las Escuelas que allí se establezcan se separen del resto de los jardines del Alcázar por un muro de la misma altura que el exterior y terminado también en almenas dejando libre la entrada del Alcázar por Catalina de Ribera y el Torreón del Agua, pues la entrada a las Escuelas en proyecto debe ser por los Jardines de Murillo.

El resto de los vocales de la Comisión de Monumentos no encontró reparos en que se realizara el proyecto dando su informe favorable para dicha obra.

En 1933 se requiere por parte de la Comisión mixta de la del Alcázar y Enseñanza un presupuesto para las obras. Éste queda establecido por el arquitecto municipal en 75.719 pesetas y 57 céntimos. El Presupuesto no será aprobado hasta el 2 de febrero de 1934.

La escuela, de carácter municipal, a la que se quería dar el nombre de Gustavo Adolfo Bécquer, estuvo a punto de no realizarse ante una negativa ministerial a sufragar los gastos de su construcción. Pero quedó resuelto para que esta fuera realizada como proyecto de la Comisión Gestora de la Bolsa Municipal de Trabajo.[20] Realizada según el proyecto ya comentado de Juan Talavera Heredia.

Las obras en el Patio del León

Este espacio constituía una de las entradas al Alcázar desde antiguo, era una explanada militar separada del Patio de la Montería por un lienzo de murallas.

Durante los últimos meses de gobierno de Alfonso Lasso de la Vega en el Alcázar se produjo un hallazgo artístico en dicha zona. Según un informe presentado por él mismo en la Comisión de Régimen del Alcázar se había producido el descubrimiento de un arco y varias decoraciones artísticas.[21] Por ello solicitaba a dicha comisión la demolición de una parte de la casa número 2 del Patio del León, para poder realizar un estudio adecuado.

Se acordó realizar una visita de investigación y solicitar informe de la Comisión de Monumentos antes de proceder al derribo que se requería. La Comisión de Monumentos en su libro de actas de sesiones no tiene referencia sobre ninguna consulta, ni cita ningún informe al respecto. Si se conoce una petición de informe favorable a la Comisión de Obras del Ayuntamiento sevillano.[22]

Alfonso Lasso de la Vega como ya se ha comentado es destituido el 8 de julio de 1934, puede que este hecho afectara al desarrollo del proceso de demoli-

ción. En una referencia en el libro de actas de la Comisión de Régimen del Alcázar (1 de septiembre de 1934) se cita dicho derribo quedando sobre la mesa el expediente correspondiente a este tema. Dicho expediente con número 13 bis, probablemente abierto en 1933, no se conserva en la documentación que el Archivo Municipal de Sevilla conserva del Alcázar, ni tampoco en la documentación que el Archivo del Alcázar posee de esta época.

No vuelven a citarse en las fuentes documentales obras en el Patio del León hasta 1935. La petición de diversos ediles del Ayuntamiento sevillano de acondicionar como acceso para los visitantes del recinto alcazareño dicha puerta. En el Cabildo de 29 de Agosto de 1935 se asegura que se están realizando las gestiones necesarias para que dicha puerta fuera utilizada como acceso. Se aseguraba por la Presidencia que un miembro del Patrimonio de la República había realizado, en riguroso incógnito, una visita al Alcázar; en ella se ha convenido en ordenar al director-conservador del edificio que se proceda al derribo de las edificaciones anexas a aquella dejándola expedita para la entrada al público, plantando al efecto unos jardines.[23] Rápidamente se iniciaron las obras ya que en el diario ABC se informa de una visita del alcalde, junto al delegado del Alcázar, señor Bermudo Barrera para visitar las obras de derribo de las antiguas caballerizas del patio del León.[24] Dichas edificaciones se habían realizado a fines del siglo XIX y no tenían ningún valor artístico, según palabras del alcalde.

Las obras se aprobaron por el Consejo de Administración del Patrimonio de la República comunicándolo de forma telefónica al alcalde, lo que intensificaba las obras ya emprendidas y el desalojo de las viviendas que allí existían. Estas obras motivaron la negativa del Ayuntamiento ante una solicitud del Ateneo para tener como punto de partida de su Cabalgata de Reyes Magos durante ese año desde dicho emplazamiento.[25] Las obras se desarrollaron durante 1936 y 1937, el 19 de Junio de 1936 se aprueban los planos que Juan Talavera y Heredia realizó para dicho espacio. La Comisión de Adquisiciones y Suministros, creada tras el 18 de julio de 1936 para la administración del Alcázar, solicitó la autorización de dichas obras a la Comisión de Monumentos y a la Junta de Cultura Histórica y Tesoro Artístico del Estado Español (19 de mayo de 1937). En julio de ese mismo año, el director-conservador realiza un pedido a la Comisión de Adquisición y Suministros para la compra de molduras y cristales para marcos que iban a ser expuestos con siete grabados, procedentes de la Hemeroteca Municipal, como exorno del nuevo apeadero del Patio del León. Ninguna nueva referencia existe en esta comisión, cuya documentación concluye en 1940, sobre pedido de presupuesto para pago de obras o material para esta estancia lo que lleva a pensar que las obras debían estar prácticamente finalizadas, con lo que se produciría la apertura de este nuevo acceso del recinto alcazareño, hoy puerta principal de acceso de visitantes y turistas.

NOTAS

1. Gaceta de Madrid, 22 de abril, p.343.
2. *El Correo de Andalucía,* 8 de noviembre de 1931.
3. AA. C.M. (Actas de la Comisión Provincial de Monumentos de Sevilla), 5 de noviembre de 1931.
4. A.M.S.(Archivo Municipal de Sevilla), Sección Cultura, C. 227, expediente número 19 bis de 1932.
5. AA.PL. (Actas del Pleno del Ayuntamiento de Sevilla), Tomo 26 de noviembre de 1932, p. 66.
6. AA. C.M. 22 de enero de 1933.
7. ABC 22 de enero de 1933, p. 24 y AA.PL. Tomo 87, 17 de marzo de 1934, p. 183.
8. AA.PL. Tomo 87, 24 de marzo de 1934, p.186.
9. AA.PL. Tomo 88, 22 de abril de 1934, pp. 34-35.
10. AA. CRA. (Actas de Comisión de Régimen del Alcázar), 8 de febrero de 1935, pp. 103-104.
11. A.M.S. Sección Cultura, C. 229. Expediente número 9 de 1936.
12. AA.CRA. 1 de junio de 1934, p. 75.
13. Informe Oficina Técnica de Obras, Vías y Parques, 31 de Marzo de 1934, expediente 25 de 1934.
14. Informe Asesoría Jurídica, 2 de agosto de 1934, expediente 25 de 1934.
15. *El Liberal* de Sevilla, 1 de noviembre de 1931, p. 5.
16. A.M.S., Sección Cultura, C.228, expediente número 16 de 1933.
17. Informe de Alfonso Lasso de la Vega, 8 de septiembre de 1933, expediente número 16 de 1933.
18. AA. PL. Tomo 72, 29 de abril de 1931, p. 177
19. AA.PL. Tomo 77, 19 de marzo de 1932, p. 99.
20. AA.PL. Tomo 100, 23 de mayo de 1936, p. 175 bis.
21. AA. CRA. 30 de mayo de 1933.
22. *ABC* de Sevilla, 16 de junio de 1933.
23. AA.PL. Tomo 95, 29 de agosto de 1935, p. 159.
24. *ABC* de Sevilla, 14 de septiembre de 1935, p. 29.
25. *La Unión* de Sevilla, 24 de diciembre de 1935.

Estática y geometría: el proyecto de puentes de fábrica en los siglos XV al XVII

Santiago Huerta Fernández

La estructura de un puente de fábrica consta de cimentación, pilas, bóvedas y cepas o estribos (en los extremos del puente). Hay otros elementos secundarios: los tímpanos, el relleno y la calzada. El puente debe disponer, además, de pretiles y sistemas de desagüe. Finalmente, puede ir adornado con distintos motivos compositivos (impostas, columnas,...) o escultóricos. En este artículo nos ocuparemos del proyecto de la estructura de los puentes de fábrica en el período que va desde 1400 a 1700 en base a los documentos originales que han llegado hasta nosotros: libros de fábrica y tratados de arquitectura e ingeniería. La primera fecha corresponde al manuscrito más antiguo que se conoce en el que se describe la construcción de un puente: el que se conserva en el Archivo Municipal de Zaragoza. La última marca una frontera menos clara, la que separa los métodos tradicionales de proyecto de lo que podríamos denominar el cálculo o proyecto científico de puentes.

La construcción de un puente es una tarea de especialistas: requiere un conjunto de conocimientos que podríamos denominar «teoría» y, además, el constructor debe haber adquirido experiencia «práctica» asistiendo a la construcción de varios puentes, bajo la dirección de un maestro. «La práctica no es nada sin la teoría» (como dijo Mignot en el Congreso de expertos de la catedral de Milán), pero la teoría sin la práctica es un mero azar. El constructor al trazar el puente debe tener la seguridad de que al descimbrar las bóvedas éstas no se hundirán. El ingeniero moderno realiza, para verificar la seguridad de un cierto proyecto un análisis de la estructura; este análisis se basa en la aplicación de las leyes de la estática y de la resistencia de materiales.[1] Se trata de una verificación «científica». ¿De qué naturaleza era la teoría empleada por los arquitectos e ingenieros de la Edad Media, el Renacimiento o el Barroco?

La fuente de información más fiable son los escritos originales; qué decían los propios constructores sobre la traza de puentes. El examen de los documentos revela que los antiguos maestros constructores empleaban ciertas reglas aritméticas o geométricas para dimensionar las pilas, estribos y bóvedas de sus puentes. También llevaban un registro de las dimensiones de puentes existentes y, en base a ello, elaboraban tablas que relacionaban los parámetros más relevantes. Realizaremos a continuación un breve inventario de estas reglas en el periodo citado, siguiendo un orden cronológico.[2]

El puente de piedras de Zaragoza

La única fuente medieval escrita que conozco en la que se trata explícitamente la traza de un puente de piedras es el manuscrito que se conserva en el Archivo Municipal de Zaragoza sobre la construcción del llamado Puente de Piedras. El manuscrito recoge documentos y actas sobre la traza y obra del citado puente, que comienzan a partir de 1401. El códice, en folio, sin ilustraciones ni dibujos, con cubiertas de pergamino resulta bastante difícil de leer. Afortuna-

damente Herranz publicó a finales del siglo pasado una transcripción parcial. Recientemente el CEHOPU ha realizado una transcripción completa del manuscrito.[3]

El manuscrito es una mina de información sobre los procedimientos constructivos, materiales, maquinaria etc., empleados en la construcción del puente. Nos interesa la parte en la que se describe la formación de las pilas, pues, las dimensiones que aparecen sugieren el empleo de una regla aritmética sencilla en su dimensionamiento: asignar a cada pila el tercio del vano correspondiente. Los párrafos resultan un poco confusos. Al parecer, dice Herranz, existía un antiguo puente del siglo XIII que se derrumbó quedando solamente una arcada. Según el manuscrito este arco era de 99 palmos y su pila de 34 palmos (1/3 de la luz), y ,parece deducirse, que en el extremo contrario quedaba otra pila de 20 palmos. Restaban por cubrir 456 palmos de río. En el informe se barajan dos propuestas. La primera es de tres tramos con su pila correspondiente de 133 palmos (se supone la misma proporción que antes, arco 99 pila 34), quedando un vano de 60 palmos (lo que guardaría también la misma relación, 1/3, con la pila existente de 20). La segunda contempla tres pilas de 30 palmos, dos vanos de 90 palmos, dos vanos de 80 palmos y una pila de 20. La pila de 20 resultaría insuficiente según la susodicha regla. No sabemos si debido a ello, los maestros recomiendan construir en ella dos torres defensivas. A continuación el texto del manuscrito según la transcripción de Herranz[4]:

> ...Et apres los dos maestros [Maestre Johan de Frenoya y Maestre Colrat] visto almallo el dito puent consellaron sobre la forma como aquell se podia comenzar y acabar sus la forma siguient.
> Primerament trobaron que la ultima arquada feyta del puent de piedra en tal Rio Ebro que ha de tono novante i nueu palmos de canya... Continuando que medida la ampleza del pilar de la dita ultima archada i que trobade Trenta y Quatro palmos de canya ...
> ...que trobado que del piet zaguero de la buelta zaguera de piedra entró a la puerta del puent ha Quatrocientos cinquante y seys palmos. los quales compartidos en tres arcadas y tres piedes a razon de cient trenta i tres palmos entre archada y piet vista de tono para la quarta archada del puent sixante palmos.
> Maestre Johan de Frenoya y Maestre Colrat conselleron y ordenaron que en la obra del puent de piedra avia necesarias quatro archadas y tres piedes y otro piet a la puerta de vint palmos. Et que los ditos tres pieds havian pro de cada trenta palmos de amplo. Et las primeras dos arcadas consegutivas al puent de piedra cada novante palmos de tono. Et las otras dos cada huytante palmos de tono i que les parecia que en el piet de la puerta de vint palmos que por bel parecer de la hobra se deviesse prender en tal manera que hi pudiesen seyer feytas Dos torretas una de cada part que serian delant la puerta del dito puent.

Resulta evidente que los constructores estaban manejando como regla de proyecto para las pilas que éstas debían tener un tercio de la luz.

ALBERTI

El tratado de arquitectura de Alberti fue iniciado probablemente hacia 1435-1440 y fue presentado formalmente al Papa Nicolás V en 1452. La edición príncipe, en latín, se publicó en 1485 y es, por tanto, anterior a la primera edición de Vitruvio.[5] En España, la primera traducción se publica en 1582 (basada en la traducción italiana de Bartoli de 1565).[6] Esta última es la que hemos utilizado.

Desde el punto de vista de la historia de las técnicas constructivas este tratado no ha recibido la atención que merece. Aunque Alberti leyó diligentemente a los antiguos, Vitruvio, Plinio, Frontino,..., en modo alguno su obra es una mera recopilación de opiniones diversas, sino, más bien, el fruto de sus investigaciones no sólo de las fuentes escritas sino de los monumentos existentes, así como de su propia experiencia profesional. El resultado es un compendio de todo el saber constructivo de su época. Los métodos constructivos no varían de forma brusca y, en efecto, la construcción en Alberti es la construcción tardomedieval. La influencia del tratado en los siglos posteriores fue enorme: sus recomendaciones y reglas aparecen citadas una y otra vez hasta bien entrado el siglo XVIII.

El tratado de Alberti contiene algunas reglas estructurales y observaciones constructivas muy interesantes. Las hemos agrupado por temas.

Proyecto de arcos en general

Alberti distingue tres tipos básicos de arcos: de medio punto, rebajado y apuntado. Recomienda que los arcos se hagan de dovelas de gran tamaño y que éstas

sean iguales entre sí, «los cuños de que se haze el arco querria que fuessen todos de piedra ancha, y quanto pueda ser grande» y que las juntas entre dovelas se dirijan a los centros de curvatura de su línea de intradós. Finalmente, advierte de que la clave ha de ser más grande que el resto de las dovelas: «el cuño del espinazo sienpre, los exercitados, le pusieron de una piedra entera y muy grande...».[7]

En cuanto a la forma del arco, Alberti consideraba el arco más estable y resistente el de medio punto (y así fue considerado, en general, hasta el siglo XVIII). Trata de demostrarlo por «razon y argumento» y sus observaciones son interesantes por dos motivos:

1) porque constituyen el primer intento de explicación del funcionamiento estructural de un arco, e influyeron muy posiblemente en los comentarios de de Baldi[8] sobre los arcos, posteriormente recogidos en forma de teoremas por Wotton.[9]
2) porque ponen de relieve la importancia de la distribución de las masas en la estabilidad de un arco, hecho éste clave en el diseño estructural de las estructuras de fábrica.

En el segundo aspecto los comentarios de Alberti no dejan lugar a dudas sobre la importancia de una adecuada proporción de las masas para conseguir el equilibrio de un arco:

> El arco recto ser el mas firme de todos se ve por ello mismo, y demuestrase por razon y argumento. Y no veo en que manera se pueda deshazer de suyo, sino es que de los cuños el uno empuje al otro echandole fuera, de la qual injuria estan tan apartados que aun el uno se confirma con la ayuda del otro, y si por ventura acometiessen hazer esto son prohibidos por la natura de los pesos debajo de que estan, o con que los mismos cuños estan embutidos... Y esto se puede ver porque el cuño mas alto que es uno solo en el espinazo de en medio, como puede echar fuera los cuños de los lados o apremiandoles ellos mismos quando podra el ser echado fuera del asiento y occupado: pero los cuños que succeden cercanos por los costados facilmente son retenidos en sus oficios con la igualdad de los pesos. Finalmente los cuños que estan asentados en las dos cabeças, porque han de ser movidos estando los de arriba en sus officios?[10]

Son interesantes también las observaciones sobre los otros dos tipos de arcos. De los arcos rebajados resalta el poderoso empuje que producen y propone para eliminarlo la colocación de tirantes de hierro, o para reducirlo la disposición de arcos superiores de decarga de medio punto. En cuanto a los arcos apuntados observa que pueden resistir grandes cargas verticales, en particular si éstas se disponen en la clave. Por todo ello los considera los más adecuados para las puertas en la base de las torres: «Los arcos conpuestos no se ven acerca de los antiguos [;] ay algunos que piensan que se han de poner en las aberturas de las torres, para que hiendan los pesos puestos encima como con proa contrapuesta, porque los arcos conpuestos se confirman con los pesos puestos encima, mas que no son opprimidos.»[11]

Puentes

Alberti se ocupa del proyecto de puentes en dos lugares distintos de su tratado: en el Libro IV, cap. 6, «De los puentes de madera y de piedra, y de sus pilares, bovedas, arcos...», y en el libro VIII, cap. VI, «De las calles más principales de las ciudades, y como se adornan, las puertas, puertos, puentes...». Las reglas de Alberti constituyeron, con pequeñas alteraciones, la 'doctrina oficial' sobre los puentes hasta mediados del siglo XVIII.[12] Aunque, como es natural, se construyeron puentes que se apartaban de lo estipulado por Alberti, en particular en lo que se refiere al empleo de arcos rebajados, la regla para el dimensionado de las pilas fue cuestionada por escrito por primera vez por Perronet.[13]

En primer lugar se decide el grosor de los pilares, que debe ser la cuarta parte de la altura, «la grosseza de los pilares sera con la altura de la puente en proporcion subquadrupla». A continuación indica que los arcos deberán ser, en general, de medio punto y su luz no deberá ser mayor que seis ni menor que cuatro veces el grosor del pilar. La rosca del puente será más gruesa en su frente (los aristorces o arcos de boquilla): «cualquier arco que estuviere en la frente de esta boveda se hara de piedra muy dura y grande,... y no avra en el arco piedras mas delgadas, que a lo menos no respondan con su grosseza en la decima parte de su cuerda, y la cuerda no sera mas larga que seys vezes la grosseza del pilar, y no mas corta que quatro.»[14]

Las instrucciones son tan precisas que permiten dibujar al traza de un puente «ideal»; así lo hizo Straub[15], y su restitución aparece en la Figura 1. De hecho cualquier traza o dibujo implica una serie de

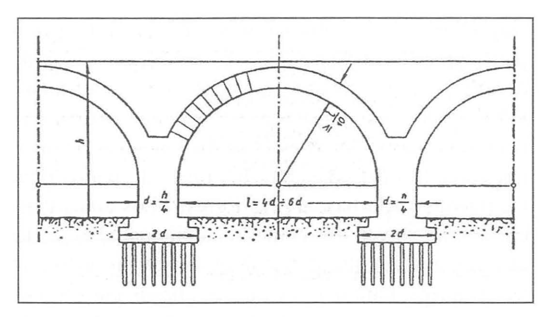


Figura 1.
Traza de un puente según las reglas de Alberti (Straub, 1992)

relaciones proporcionales. La diferencia estriba en que en el dibujo están «ocultas» y, además, todas las posibles relaciones tienen la misma importancia: las reglas resaltan las relaciones fundamentales (en el caso de un puente, luz/grosor de la pila, luz/rosca de la bóveda).

No obstante, hay que señalar que el espesor de los aristones no tiene necesariamente que representar el espesor de la bóveda y, de hecho, Alberti se refiere explícitamente al «arco que estuviere en el frente de esta bóveda». Curiosamente el espesor de la bóveda lo da en otro libro; el espesor de la bóveda en los puentes grandes no será menor de 1/15 de la luz: «[los arcos] hazerse han gruessos en las grandes puentes no menos que por la decimaquinta parte de toda la abertura.»[16] Esto es, en los puentes grandes la bóveda será más delgada que el aristón (esto se observa en casi todos los puentes de piedra).

Alberti recomienda el empleo de arcos de medio punto pero también admite la posibilidad de utilizar el arco rebajado cuando la situación lo exija, si bien advierte de que en este caso es preciso reforzar los estribos: «... y si por la disposicion de los pilares de tal manera corresponde el recto que seas offendido con su demasiado relieve de medio circulo, usaremos del disminuido confirmados muy mucho los lados de la ribera con mayor grosseza». Además, insiste en la necesidad de macizar cuidadosamente los riñones de las bóvedas de los puentes.[17]

Finalmente, resalta la importancia de ejecutar los puentes con gran cuidado y empleando piedras de gran tamaño, en razón a los grandes pesos que ocasionalmente cruzarán por encima de ellos:

... las bovedas y arcos, assi por las demas cosas, como por los fuertes y continuos temblores de los carros, conviene que sean muy señaladamente fuertes y maravillosamente affirmados. Y añade que algunas vezes se han de traer por la puente, acaso, grandissimos pesos de colossos ... Y la razon persuade, que a las puentes se les deven muy grandes piedras enteras con el exemplo del yunque, porque si ella fuera grande y muy pesada facilmente sostiene los golpes de los martillos, pero si es mas liviana ressiste a los golpes y se conmueve.[18]

PALLADIO

El tratado de arquitectura de Palladio,[19] *Los cuatro libros de arquitectura,* publicado en Venecia en 1570, es quizá uno de los más influyentes de la historia de la arquitectura. En relación con las reglas de proyecto estructural de estructuras de fábrica en el libro sólamente aparecen: 1) una regla para dimensionar los estribos para arcos y bóvedas; 2) modelos de puentes con sus proporciones geométricas fundamentales. La regla de los estribos aparece citada de nuevo en un informe sobre la logia de Brescia.

Estribos en general

Palladio cita una regla aritmética para dimensionar los estribos de arcos y bóvedas. Curiosamente la regla es la misma que aparece implícita en el proyecto de las pilas del puente de Zaragoza (170 años anterior) y que hemos comentado más arriba: el estribo tendrá de grosor un tercio de la luz del arco o bóveda. Tiene sentido esta coincidencia pues las bóvedas de los puentes son de cañón y también lo son las bóvedas renacentistas.

Debería tratarse de una regla de uso común. pues Palladio la cita, como de pasada, dándola por sabida, al ocuparse del diseño de las arcadas.[20] Además, Palladio la vuelve a citar al escribir un informe pericial sobre la estabilidad de la logia del Palacio de Brescia. Al tratar de los machones de la arcada inferior (que eran el objeto del informe) dice:

«En relación con los estribos resulta evidente para cualquier arquitecto experimentado que una construcción cualquiera sobre machones que tengan de grosor el tercio del vano de los arcos que los separan tendrá toda la solidez conveniente para durar durante largo tiempo...»[21]

Puentes

Palladio da varios modelos de puentes, estableciendo sus relaciones geométricas fundamentales: las dimensiones de la clave y de las pilas en relación con el vano. Cada uno de estos tipos dibujados puede considerarse como una 'regla de proyecto', análoga a la deducida por Straub a partir de las reglas de Alberti. El arquitecto o ingeniero podía luego aceptar o modificar esas proporciones en función de las condiciones particulares del proyecto.

En la Figura 2 se recogen los puentes de fábrica descritos en el tratado de Palladio. Los parámetros fundamentales de proyecto, siguiendo a Alberti, son: el espesor de la clave del aristón y el grosor de las pilas. Hemos hallado estas relaciones en base a las medidas del texto o, simplemente, midiendo sobre el dibujo, Tabla 1.

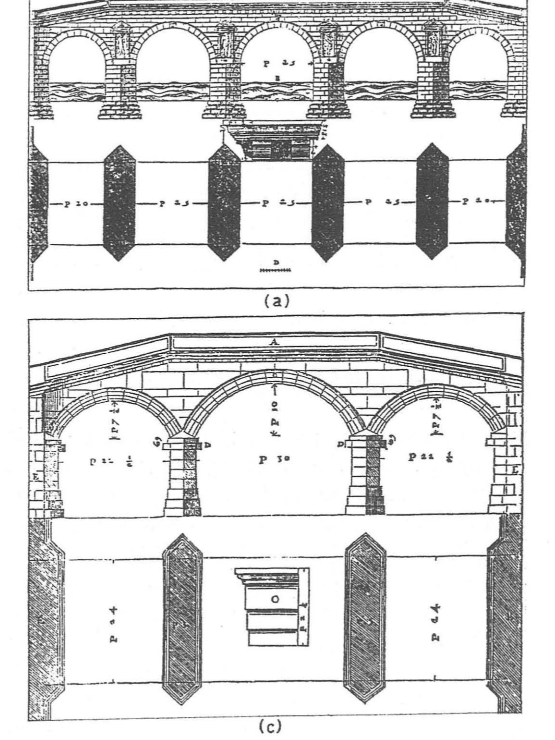
Puente	e/L	p/L
(a) Puente romano de Riminí	1/10	1/2
(b) Puente medieval sobre el Rerone	1/12	1/6
(c) Puente de Vicenza de Palladio	1/12	l/6
(d) Proyecto de Puente de Palladio	1/17	1/5.

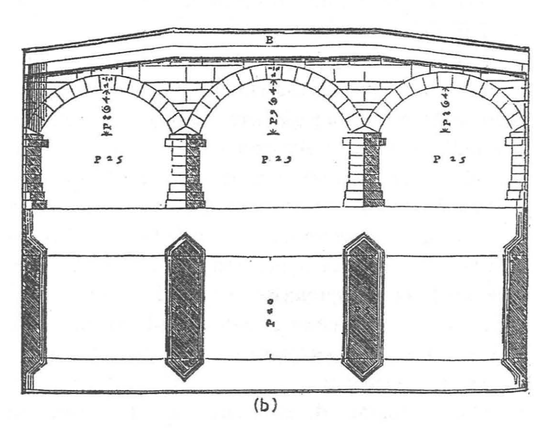
(L = vano mayor; e = espesor en la clave; p = ancho de las pilas)

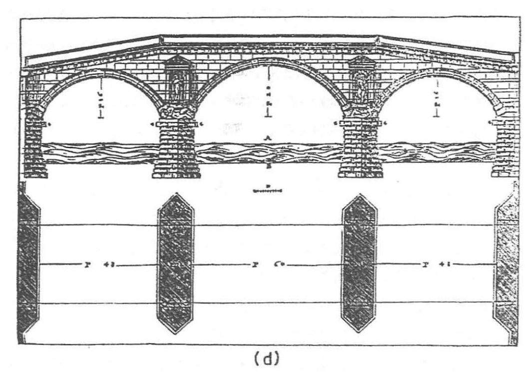
Tabla 1.
Relaciones proporcionales en los puentes recogidos por Palladio.

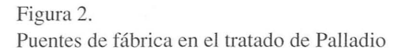
Como puede verse las proporciones no son muy distintas de las recomendadas por Alberti, con la única excepción de las pilas demasiado gruesas del puente romano de Riminí.

De hecho, la práctica de diseñar a partir de ejemplos construidos fue habitual y en los tratados de








Figura 2.
Puentes de fábrica en el tratado de Palladio

puentes de los siglos XVIII y XIX, se dedicaba un parte considerable a realizar un catálogo de todos los puentes conocidos de los que se daban, además de datos históricos, sus dimensiones fundamentales: luz del vano o vanos, espesor en la clave y arranques, espesor y altura de las pilas.[22]

Los veinte y un Libros de los Ingenios , y Maquinas de Juanelo

Los veinte y un Libros de los Ingenios , y Maquinas de Juanelo, los quales le Mando escribir y Demostrar el Chatolico Rei D. Felipe Segundo Rey de las Hespañas y nuebo Mundo... es el título del primero de cinco volúmenes manuscritos que se conservan en la Biblioteca Nacional de Madrid.[23] Es un documento de extrordinaria importancia dentro de la Historia de la Construcción pues se trata del primer tratado de lo que, hasta el siglo XIX, se conoció como *Arquitectura Hidraúlica.*

Debido a la inclusión en el título del nombre Juanelo el manuscrito se ha atribuido tradicionalmente a Juanelo Turriano, el ingeniero y relojero italiano de Felipe II. García Diego el autor de la primera edición del manuscrito [24] pone en duda la autoría de Juanelo y fecha el manuscrito entre 1564 y 1595. Más tarde García Tapia ha defendido con pasión la atribución al ingeniero español Pedro Juan de Lastanosa.[25] El tema no parece cerrado todavía; en lo que sigue aludiremos al autor del manuscrito como Juanelo.

Las únicas reglas estructurales del tratado se refieren a los puentes y están contenidas en el Libro 18 «De como se an de hazer las pilas de las puentes de piedra en diversas maneras.» La influencia de Alberti en el tratado de Juanelo es evidente; sólo en aspectos constructivos aparecen innovaciones en el manuscrito, con una minuciosa descripción del proceso de ejecución de las pilas de los puentes.

Proyecto de arcos

Juanelo suscribe la doctrina de Alberti sobre el 'arco ideal': «El que es mas fuerte de todos los arcos es el de medio redondo; porque ninguna de las otras maneras es tan fuerte ni paresce tambien, ni tiene tanta graçia como el q' es hecho de medio redondo justamente.»[26]

Insiste, como Alberti, en la necesidad de rellenar los riñones de las bóvedas con buena sillería, para mejorar la estabilidad: «... assi mesmo digo, que los arcos se deven hazer, con sus senos, o, costados que sean henchidos y firmes»;[27] y a continuación: «... lo que hay entre un arco y el otro se deve ir hinchendo de piedra de tal modo, que todo sea muy firme, ni se halle en toda la obra cosa mas firme».[28]

En cuanto al canto de los arcos no da regla, pero sí aconseja, de nuevo siguiendo a Alberti, que las dovelas de los arcos de boquilla «... conviene hazerlas muy rezias, por causa del grande atronamiento de los carros,... y otros pesos que ordinariamente se offresçen passar por la puente, como son artillerias, colossos, bobeliscos,..[29]

Las claves de los arcos, recomienda que sean más grandes que el resto de las dovelas, y que se introduzcan, al final, a golpes con un martillo de madera para que hagan presión contra las otras dovelas antes del descimbramiento. De esta manera se pueden reducir los descensos de la clave en el momento del descimbramiento, y la línea de empujes se acomoda mejor dentro del arco:[30]

> ... devese labrar la clave del arco algo mas ancha en la parte de arriba, que ninguna de las otras piedras, la qual çierra el arco... y aun es necessario hazerla entrar a fuerça con calarla con algunos golpes para que entre con un maço de madera para que no se rompa la piedra y hincandose con fuerça haze que se aprieten todas las demas del arco y siendo muy bien apretadas estan muy mas firmes en su lugar y hazen todas muy bien su offiçio...[31]

Pilas y estribos de los puentes

Juanelo considera el dimensionado de las pilas como fundamental dentro de la construcción de puentes. Lo trata, pues, con detalle dando ejemplos numéricos y diagramas: «No se haga pues mas ancha la cuerda del arco de la puente que quanto es seis vezes gruessa su pila, y esto todo quanto se les puede quitar á las pilas, ni en alguna manera se çufre hazer las pilas mas delgadas de una sesena parte de la cuerda del arco, ni tampoco mas gruessas de la quarta parte de lo largo de la cuerda del arco, que ha de cargar ençima della.»[32]

Para que no quede duda repite de nuevo un ejemplo y, lo que es más interesante, realiza un dibujo a

escala de un arco y el intervalo de variación posible de las pilas, sin duda para acostumbrar el 'ojo' del lector a las proporciones adecuadas (Figura 3):

> Digamos agora que el arco tiene de cuerda, de modo que la sesena parte de sesenta es diez que seria lo ancho de la pila, y esto es hazerla tan estrecha, como se pueda hazer, y si tomassemos los mismos sesenta y hiziessemos dellos quatro partes, que es la mayor anchura que se pueda dar a una pila, q' vendria a ser quinze; de suerte que en estos dos extremos se pueden tomar todos aquellos medios, que hay de diez a quince, iran repartiendo como mejor les parescera, aunque la mejor proporçion es de treze á doze y doze y medio y sale siempre más verdadera; de suerte que se puede quitar de quinze y añadir á diez, hase esto de hazer con buen juizio y discretion y si la pila es quince, no puede ser el arco menos de sesenta...[33]

Fray Lorenzo de San Nicolás

El tratado de arquitectura de Fray Lorenzo de San Nicolás consta de dos partes publicadas respectivamente los años 1639[34] y 1664[35]. El tratado propiamente dicho lo forma la primera parte. La segunda parte se entiende como un complemento a la primera. Se trata, sin duda, del tratado de arquitectura más importante del siglo XVII en España. Según Kubler: «*El Arte y Uso de Arquitectura* es, desde muchos puntos de vista, el mejor libro sobre instrucción Arquitectónica escrito jamás...».[36]

Desde el punto de vista de la historia de la construcción es un texto fundamental, que describe con claridad y detalle todos los procesos constructivos. Aunque Fray Lorenzo era un hombre de vasta erudición y conoce, y cita, los más importantes tratados de arquitectura de su época, su obra no es en modo alguno un *collage* de opiniones de distintos autores, cosa harto frecuente en aquella época. Era un hombre estudioso pero crítico, y siempre expone su opinión con independencia y buen criterio.

El tratado de Fray Lorenzo contiene diversas reglas y observaciones sobre el diseño y construcción de arcos, bóvedas y cúpulas. Las comentaremos siguiendo el orden de aparición en el tratado.

Estribos de edificios

Las primeras reglas se refieren a los estribos de los templos. Aparecen formando un capítulo aparte[37] y constituyen el conjunto más completo de reglas para el dimensionado del contrarresto de las iglesias. Fueron citadas una y otra vez en todos los tratados posteriores hasta el siglo XIX. Para el presente artículo nos interesan únicamente los sabrosos comentarios que realiza sobre el proyecto de estribos, por la luz que pueden arrojar sobre su idea del proyecto de estructuras en general. En primer lugar Fray Lorenzo señala la importancia de la materia de que se trata: «Qué gruesso ayan de tener [los estribos de un templo] para sustentarle, assi el de su mismo pesso, como el del empujo de las bovedas, importa mucho el acierto.»

A continuación cita el caso de San Pedro de Roma, donde los contrafuertes tienen un canto de la mitad del vano lo cual le parece excesivo: «Hemos ido adelgazando los ingenios, y a este passo los edificios, y en el tiempo presente se conoce la mucha grosseza de los edificios antiguos, y la sutileza de los presentes».

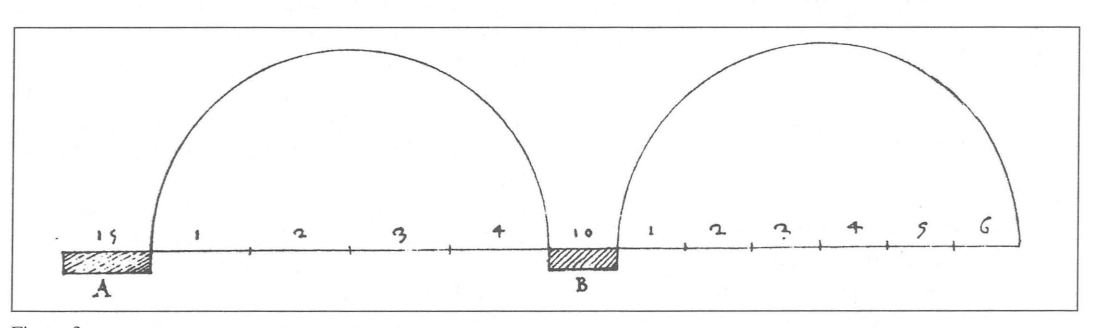


Figura 3
Intervalo de variación posible de las pilas de los puentes, según Juanelo

Discute la creencia general de que los daños se deben precisamente a las proporciones más esbeltas y señala que comunmente se deben a fallos en las cimentaciones o al paso del tiempo:

> Podràn decirme, que por tanto adelgazar ha avido ruinas en ellos. A esto respondo dos razones, y es, que el daño ha nacido de estar mal plantados, mas que de su delgadez. Y lo otro, que ni los edificios plantados muy gruesos en sus paredes, han dexado de tener muy grandes ruinas, como las historias diçen, causadas del tiempo, de que adelante trataremos.

Finalmente afirma que un exceso en el dimensionado puede ser tan perjudicial como quedarse corto, refiriéndose, en forma implícita, a la necesidad de buscar un equilibrio entre las distintas partes: «Conserva a un cuerpo, segun sienten los Phisicos, una mediana en el sustento; porque la abundancia la acaba, y la falta le destruye; asi siento que passa en los edificios, que mucho peso, o gruesso les hace abrir quiebras, y falta de gruesso les hace perecer: assi, que conviene que guarde una mediana para conservarle.»[38]En definitiva, Fray Lorenzo defiende un proyecto correcto donde la cantidad de fábrica se ajusta a lo estrictamente necesario.

Proyecto de arcos

Fray Lorenzo dedica un capítulo completo al tema de los arcos, sus tipos y estereotomía.[39] Como Alberti, procede de manera sistemática: primero define los distintos tipos de arcos: «Muchos son los generos de los arcos que la industria ha inventado: mas aunque muchos, reducirlos hemos à cinco... Los nombres a los que los reduzco son: el primero, es escarzano, el segundo carpanel o apaynelado, el tercero buelta de cordel, ò punto hurtado, el quarto medio punto, el quinto todo punto.»

Sobre cuál de ellos es el mejor, desde un punto de vista estructural, suscribe la doctrina de Alberti: «Entre todos es el mas fuerte el de medio punto, y el mas agradable a la vista, y al fin en todo el mas perfecto.»

Menciona el problema clave del diseño de arcos: determinar su canto en función de la luz, sin embargo no da ninguna regla (en efecto, como hemos visto el espesor depende de la configuración de cargas que soporta el arco): «Del gruesso de los arcos no se puede dar regla asentada y cierta aunque algunos la dan: mas en esto el Maestro le aya prudente, y conforme à lo que ha de sustentar el gruesso.»

Más adelante se reafirma en su opinión:

> ...del gruesso que han de tener los arcos, de que no podemos dar regla, como diximos en el cap.42. y es la razon, que si a un gruesso de veinte y cinco pies diessemos dos de rosca, a uno de cinquenta aviamos de dar quatro, y esto podria convenir en puentes, de que adelante trataremos, mas no conviene en Templos; y assi el gruesso quede arbitrariamente a juicio del Maestro.[40]

Los comentarios sobre las propiedades y ventajas estructurales de cada tipo de arco coinciden con las expresadas con Alberti. Así, sobre el arco de medio punto dice: «Este es un arco muy perfecto, como en su lugar diximos, y muy seguro, con tal que los empujos esten acompañados con suficientes estrivos, de que en su lugar diremos, assi deste, como de los demás».

Es muy interesante la alusión a una regla para conocer el estribo correspondiente a cada arco. Sin embargo, en este caso Fray Lorenzo parece haberse olvidado de su promesa y ni en la primera ni en la segunda parte de su tratado aparece ninguna mención (o al menos no la hemos encontrado) sobre este particular.

Sobre el arco apuntado, menciona su empleo en los arbotantes y su propiedad de no sólo resistir empujes horizontales sino también verticales: «Este arco puede sufrir muchissimo peso, y comunmente se echa el medio para recibir algun empujo de Iglesia, salvando alguna calle; y estando assi le llamamos botarete».[41]

Pilas y arcos de puentes

Fray Lorenzo dedica un capítulo completo al tema de los puentes[42]. Su doctrina está claramente inspirada en la de Alberti, aunque como es habitual en él expresa sus propias opiniones y existen algunas desviaciones.

Como todo buen constructor de fábricas sabe que el comportamiento estructural es el mismo para estructuras de ladrillo o piedra, «... siendo las puentes de ladrillo, y piedra, lo que se dixere de la una, se ha de entender de la otra por ser en todo muy semejantes».

Sigue una descripción muy detallada de la construcción de las pilas de los puentes que, dice, han de tener de espesor la mitad de la luz: «El gruesso de las cepas ha de ser por la mitad del hueco del arco.» Esta proporción es muy conservadora e indica que Fray Lorenzo era más un arquitecto de edificios, en el sentido actual de la palabra, que de puentes.

Como Alberti recomienda macizar y levantar las pilas hasta los dos tercios de los arcos: «Los estrivos levantaràn hasta los dos tercios de los arcos, y hasta el ultimo se iràn rematando con la misma nariz del tajamar, ò angulo, que llevarà bien soldado, para que assi tambien sea defendido el estribo de las inclemencias del tiempo.» También aconseja para hacer el puente más seguro levantar « algunas Torres, fundadas sobre sus cepas; porque el peso en las avenidas, resiste el impetu de las aguas: y assi las vemos en las puentes del Arzobispo, y Alcantara, y en otras partes».

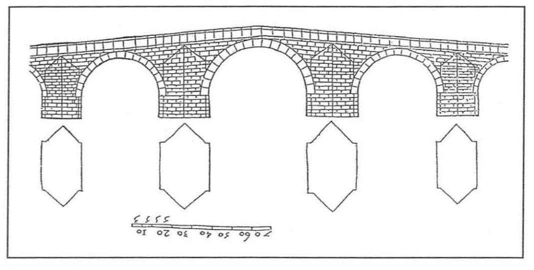


Figura 4
Diseño de puente según Fray Lorenzo

En el caso de los arcos de los puentes favorece el empleo del arco de medio punto que, como hemos visto, considera el mejor estructuralmente: «La buelta que el arco ha de tener serà bien sea de medio punto, por ser mas fuerte.»

Sobre el canto de los arcos de la bóveda distingue como Alberti entre los aristones, las piedras del borde, y las del interior de la bóveda. Para las primeras de una proporción de 1/12 de la luz (Alberti propone 1/10, Palladio 1/12), para las segundas no da regla, si bien advierte que deben ser considerablemente más gruesas que en el caso de las bóvedas de los edificios:

> El gruesso de las dobelas serà de alto en las bobedas segun al Artifice pareciese: mas los aristones, que son las dobelas exteriores, que reciben los golpes, seràn por la dozaba parte de su ancho, aunque en el capitulo quarenta y uno diximos, que no se podia dar regla cierta para los gruessos de los arcos. Mas en este caso corre muy diferente regla; porque se ha de considerar, que por una puente passan muchos, y diversos pesos de piedras, golpes de carros, y otras cosas y por esta razon conviene, que sean tan gruessas las bobedas, ò arcos de los puentes: y si el gruesso que pide fuese tal, que comodamente no se puedan subir, ni assentar sus dobelas, en tal caso lo repartiràs en dos bobedas, o arcos, y servirà de cimbra la primera à la segunda, y assi quedarà la puente segura.

Simón García

El Tratado de Simón García, nunca llegó a publicarse, y se conserva en forma manuscrita en la Biblioteca Nacional de Madrid.[43] Parece ser la obra de un erudito que ha consultado muchas fuentes. Los primeros siete capítulos son copia de un tratado perdido de Rodrigo Gil de Hontañón, como el propio Simón García indica. Una buena parte del resto del manuscrito está inspirada, muchas veces copiada literalmente, del tratado de Fray Lorenzo. En efecto, Simón García copia profusamente de Fray Lorenzo pero tiene un índice distinto. Resulta, por tanto, laborioso comparar ambos tratados y, quizá por esta razón, la influencia de Fray Lorenzo en Simón García ha pasado hasta el momento desapercibida.[44]

Proyecto de puentes: reglas para las pilas

En el tratado hay un capítulo con el título «de puentes Regla General»,[45] que, contiene una regla excepcionalmente interesante para el dimensionamiento de las pilas de los puentes: en vez de basarse en proporciones lineales (sea geométrica o aritméticamente) como ha sido el caso hasta ahora, utiliza proporciones de áreas.[46] Así, la pila ha de tener de superficie la mitad de la superficie que cubre la bóveda del puente; es decir, el producto de su luz por el ancho de la calzada. Las proporciones de la pila, sin embargo, no aparecen claramente establecidas y dice vagamente que se den tres partes al tajamar situado en la dirección de la corriente y dos al de la parte de abajo:

> La orden que se a de tener para sacar la traça de un puente, y darle el area que requiere el pilar segun el an-

cho del puente, y el largo de uno de los arcos sera esta ... Teniendo quenta de dar a los pilares el area que requieren que será de esta manera de exemplo. En esta planta que queda señalada con A, que tiene el arco de longitud 40 pies. Y de ancho 16 pues multiplica 40 por 16 y baldran 640. La mitad de estos 640 que son 320 serà el area que tendra este pilar, y el tajamar que está açia la parte de arriva que corta el agua tendra tres partes y el de abajo dos; tambien se a de mirar que si este edifiçio se a de haçer a donde el rio ba angosto y recio, en tal caso el puente sea mas ancho, que quando el rio ba tendido y manso porque desta suerte no halle la furia tanto en que haçer presa como si fuese el pilar ancho...

Una interpretación podría ser, basándose en la figura y manteniendo la forma del tajamar de arriba (arco apuntado aproximadamente equilátero) y abajo (rectangular), que la relación entre las longitudes transversales de ambos esté en la relación de 3 a 2. Como, a su vez, los dos serían función del ancho de la pila, en este caso todas las dimensiones quedarían prefijadas al determinar la luz (L) y ancho (A) del tramo, produciéndose las relaciones geométricas que aparecen el la Figura 6. De esta forma podemos establecer relaciones entre la luz del tramo (L) y el espesor de la pila (e), L/e, para cada proporción del tramo L/A (véase Figura 7).[47]

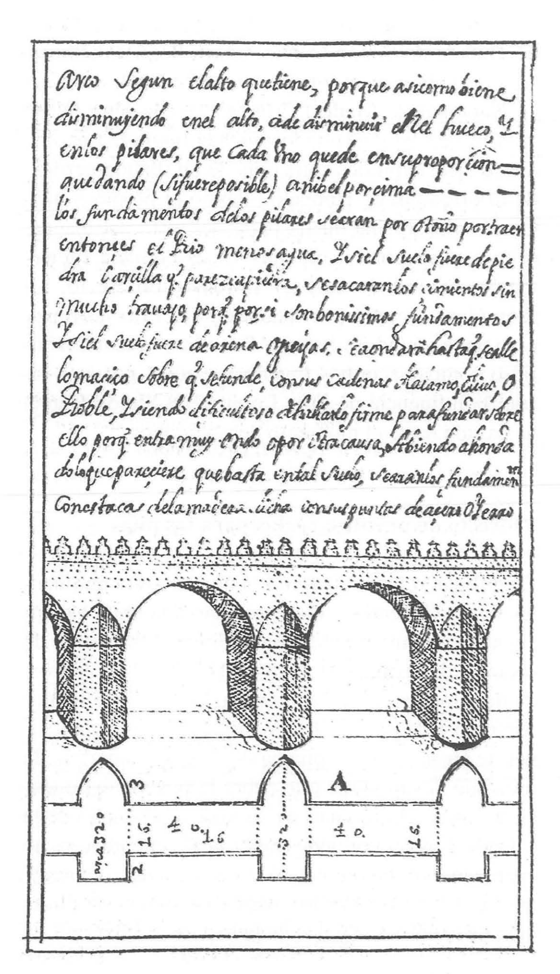


Figura 5
Dibujo original del manuscrito de Simón García

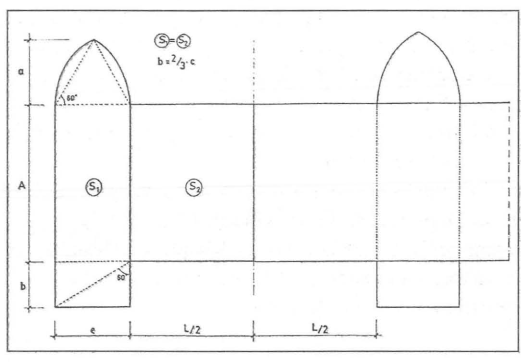


Figura 6
Restitución hipotética de la geometría

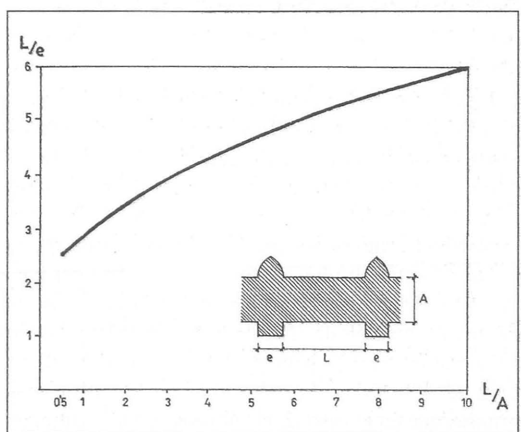


Figura 7
Relación entre luz y espesor de la pila en la hipótesis anterior

Como puede observarse los valores del espesor de la pila están comprendidos entre 1/3 y 1/6 de la luz. A medida que la calzada se hace más estrecha influye más el papel estabilizante de los tajamares y la pila disminuye de espesor. Esta manera tan sofisticada de relacionar varias variables parece corresponder más a la tradición de Rodrigo Gil que a la de Alberti/Palladio. La forma de presentar la regla también coincide y, en nuestra opinión, es probable que esta regla perteneciera al antiguo manuscrito de Rodrigo Gil.

Más adelante, siguiendo su afán erudito, Simón García menciona las reglas de Alberti; cita primero a Cataneo[48] pero su libro es muy posterior y las reglas citadas por Simón García que corresponden al tratado de Alberti: «... Segun Cataneo, no seran las pilastras mas subtiles que la sexta parte del hueco del arco y concuerda con Leon Baptista Alberto que en el libro 4º Cap. 6, dice que sean los pilares de grueso la terçia parte de la mitad del arco que biene a ser la sexta del arco entero.»

En cuanto al espesor de la bóveda del puente repite de nuevo la regla de Alberti: «Las dobelas de los arcos serán tan altas como la 10a parte del ojo maior y ya que no puedan ser tan grandes todas las dobelas por lo menos los aristones.»

Conclusión

El rastreo reflejado en las páginas anteriores pone de manifiesto que para los constructores de puentes, arquirtectos o ingenieros, la traza era un problema de geometría: consistía en dar a los elementos principales de la estructura, las pilas y cepas y las bóvedas, las dimensiones relativas correctas. Esto conducía a reglas de proporción, independientes del tamaño. La unanimidad de todas las fuentes consultadas no deja lugar a dudas en cuanto a la confianza de los antiguos constructores en este «cálculo geométrico» de las estructuras.

Las reglas fueron empleadas, con éxito, durante siglos. No obstante, la naturaleza del cálculo es tan distinta del actual, que han surgido frecuentemente dudas sobre su validez.[49] No obstante, las reglas son del tipo correcto para las estructuras de fábrica. Como ha demostrado el profesor Heyman, la aplicación de la moderna teoría del análisis límite conduce precisamente a las mismas afirmaciones de tipo geométrico.[50] Se trata de conseguir un estado de equilibrio con esfuerzos de compresión (los únicos que puede resistir la fábrica) y esto, para peso propio, conduce a determinadas proporciones. Es un problema de equilibrio entre empujes y contrarrestos, de la adecuada colocación de los pesos, de la sabia transmisión de los empujes a través de las piedras: «Ut pondera libra, sic aedificia architectura», del mismo modo que se pesa en la balanza, así, se construye la arquitectura.[51]

Notas

1. Para un resumen del desarrollo de la teoría científica de arcos y bóvedas de fábrica, véase:J. Heyman. *The masonry arch.* West Sussex, Ellis Horwood, 1982; S. Huerta «La teoría del arco de fábrica: desarrollo histórico» *Obra Pública,* Nº 38, 1996. pp. 18-29; K. E. Kurrer. «Zur Entwicklungsgeschichte der Gewölbetheorien von Leonardo da Vinci bis ins 20. Jahrhundert» *Architectura,* Vol. 27, 1997. pp. 87-114; para el desarrollo en el siglo XIX: E. Benvenuto, M. Corradi y F. Foce. «Sintesi storica sulla statica di archi, volte e cupole nel XIX secolo.» *Palladio,* Vol. 1, Nº2, 1988. pp. 51-68.
2. Para un estudio más amplio del proyecto de estructuras de fábrica, incluyendo edificios y torres además de puentes, así como un inventario de lascorrespondientes reglas de proyecto, véase: Santiago Huerta Fernández. *Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España, ca. 1500- ca. 1800.* Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, 1990.
3. «Manuscrito del Puente de Piedras de Zaragoza.» Ms. 47, Archivo Municipal de Zaragoza. Su foliación denota que por lo menos tuvo 104 hojas, reducidas hoy a 99. En la primera página aparece el texto: «Libro comenzado de la manera como el puent de piedra de la Ciutat de Zaragoza se deve comenzar i acabar i de las piedras quantas son necesarias i qual piedra es millor para qualcina i de qual arena era millor para fazer largamasa i de qual pedrera se tallaria la piedra para comenzar i acabar el dito puent.» La referencia de este documento la encontré en: P. Alzola y Minondo, *Las Obras Públicas en España. Estudio Histórico.* Bilbao: 1899, págs. 80-83. Hay una transcripción parcial en: C. Herranz y Laínz, *Fábrica del Puente de Piedras de Zaragoza.* Zaragoza: 1887. La transcripción completa, realizada por D. Alberto Tamayo, puede consultarse en la Biblioteca del CEHOPU, en Madrid; existe el proyecto de publicarla en un futuro próximo.
4. Herranz, op. cit. págs. 16-17.

5. Dora Wiebenson (ed.) *Architectural Theory and Practice from Alberti to Ledoux*. Charlotesville, Va.: Architectural Publications Inc., 1982. s/pS
6. León Baptista Alberti *Los Diez Libros de Arquitectura de León Baptista Alberto. Traduzidos de Latín en Romance. [por Francisco Loçano]* Madrid: Casa de Alonso Gómez, 1582.
7. Alberti, Lib. III, cap. 13, pág. 86.
8. Bernardino Baldi *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes...* Moguntiae: Viduae Joannis Albini, 1621. Citado por H. I. Dorn *The Art of Building and the Science of Mechanics. A Study of the Union of Theory and Practice in the Early History of Structural Analysis in England.* Ph.D.: Princeton University, 1970. pp. 52-53.
9. H. Wotton *The Elements of Architecture*. London: 1624. Citado por Dorn, op. cit. pp. 53-59. Existe una traducción al español del siglo XVII que comentamos en el correspondiente apartado.
10. Alberti, Lib. III, cap. 13, pág. 85.
11. Ibídem.
12. Alberti todavía aparece citado como una de las autoridades más importantes en el primer tratado específicamente de puentes el de H. Gautier *Traité des Ponts*. Paris: 1716. Más tarde escribe una memoria *Dissertation sur l'epaisseur des culées des Ponts, sur la Largeur des piles, sur la Portée des voussoirs, sur l'Erfort & la Pesanteur des Arches à differens surbaissemens...* , Paris: 1717, que se incorpora en las ediciones posteriores. He manejado la de 1728. El tratado de Alberti, aparece citado también como fuente fundamental en la enciclopedia de J. H. Zedler *Grosses vollständiges Universal-Lexikon Aller Wissenschaften und Künste...* Halle und Leipzig: Im Verlag Johann Heinrich Zedlers, 1735, Vol. 4, *Brücke*, pp. 1542.
13. J. R. Perronet «Mémoire sur la réduction de l'épaisseur des piles et sur la courbure qu'il convient de donner aux voûtes, le tout pour que l'eau puisse passer plus librement sous les ponts.» *Mémoires de l'Academie Royale des Sciences* 1777. pp. 853-64.
14. L. B. Alberti, Lib. IV, cap. 6, pág. 114.
15. H. Straub. *Die Geschichte der Bauingenieurkunst*. 4a. ed. Basel : Birkhäuser Verlag, 1992. pág. 129. Straub, dimensiona la cimentación en base a una regla para cimentar muros sobre terrenos anegados citada por Alberti en el Libro III, Cap. III, pág. 67.
16. Alberti, Lib. VIII, cap. 6, pág. 248.
17. L. B. Alberti, Lib. III, cap. 6, 115.
18. Ibídem.
19. A. Palladio *I quattro libri dell'architettura*. Venecia: Doiminico Franceschi, 1750. Edición facsímil, Milán: Hoepli, 1976. Esta es la edición que hemos manejado.
20. «Ma si faranno le Loggie co i pilastri, cosi si doveranno disporre, che i pilastri non siano manco grossi del terzo del vano, che farà tra pilastro, e pilastro: e quelli, che saranno ne i cantoni; andaranno grossi per la metà del vano, come sono quelli del Theatro di Vicenza, e dell'Anfitheatro di Capua, overo per li due terzi, come quelli del Theatro di Marcello in Roma; e del Theatro di Ogubio... ...Gli fecero gli Antichi alcuna volta ancho tanto grossi, quanto era tutto il vano comme nel Theatro di Verona in quella parte, che non è sopra il Monte. Ma nelle fabriche private nonsi faranno nè meno grossi del terzo del vano, nè piu de i due terzi, e doverebonno esser quadri.» Palladio, *I quattro libri...*, op. cit. pág. 16.
21. Véase B. Zamboni *Memorie intorno alle publiche fabriche piu insigne della cita di Brescia*. Brescia: 1778. Citado por J. Rondelet *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Paris: 1834-48, Vol. 4, pp. 389-391, lám. 195, figs. 45-47. Es el texto que hemos usado . Para una transcripción ver también: Puppi, Lionello. *Andrea Palladio: Scritti sull'architettura (1554-1579)*. Vicenza : Neri Pozza Editore, 1988.
22. Véase por ejemplo: H. Gautier *Traité des Ponts...* París: 1714, el primer tratado dedicado específicamente a puentes; J. Leupold *Theatrum Pontificiale oder Shau-Platz der Brücken und Brücken-Baues*. Leipzig: Joh.Gledischens seel.Sohn, 1726, precursor de los grandes tratados alemanes; E. M. Gauthey *Traité de la construction des ponts*. Paris: 1809-1813, quizá el tratado de mayor difusión en el siglo XIX; etc... al final de esta tradición encontramos la obra de P. Sejourné *Grandes Voûtes*. Bourges: Imprimerie Vve Tardy-Pigelet et Fils, 1913-1916. Esta obra monumental cataloga todos los puentes en arco de fábrica u hormigón armado con luces por encima de los 40 metros.
23. Biblioteca Nacional de España, Madrid, Mss. 3372 a 3376 (5 vols.). Hay una reciente edición facsímil en 5 vols.: Madrid: Fundación Juanelo Turriano, 1996. Véase: L. Reti, «The Codex of Juanelo Turriano (1500-1585) in the Biblioteca Nacional of Madrid (MS 3372/3376) and Its Importance for the History of Technology.» *Actes du XIIe Congrès International d'Histoire des Sciences, 1965*, Vol. 6, 1968. pp. 79-83.
24. Juan Antonio García Diego titula expresivamente la edición: *Pseudo-Juanelo Turriano. Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*. Madrid: Turner / Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, 1983. 2 vols. En sus «Reflesiones sobre los Veintiún Libros de Ingenios y Máquinas», en el Vol. 1 de la edición de 1996, abunda en sus argumentos en ocntra de la autoría de Juaelo Turriano. Del mismo autor: *Juanelo Turriano, Charles V's Clockmaker: The Man and His Legend*. Nantuicket, Mass: Science History Publications, 1986.
25. Véase: N. García-Tapia «Los 21 libros de los ingenios y de las máquinas: su atribución.» *Boletín del Seminario de Estudios sobre Arte y Arqueología*, Vol. 50, 1984. pp. 434-439. Del mismo autor: *Ingeniería y arquitectu-*

ra en el Renacimiento español Valladolid : Secretariado de Publicaciones, Universidad, 1990; *Pedro Juan de Lastanosa. El autor aragonés de «Los veintiún libros de los ingenios»* Huesca : Instituto de Estudios Altoaragoneses, 1990.

26. Juanelo op. cit. fol. 374v.
27. Ibídem.
28. Juanelo, op. cit. fol. 376r.
29. Ibídem, fol. 372r.
30. Este procedimiento aparece citado como el tradicional por Perronet: 'Pour diminuer le tassement des voûtes et faciliter le décintrement des ponts, l'usage ordinaire a été, jusqu'au présent, de poser à sec un certain nombre des dernier cours de voussoirs; de les serrer fortement avec des coins de bois chassés à coups de maillet entre des lattes savonnées, et de les couler et ficher ensuite avec mortier de chaux et ciment'. Véase su «Memoire sur le cintrement et le décintrement des ponts, et sur les differens mouvements que prennent les voûtes pendent leur construction.» *Memoires de l'Academie Royale des Sciences,* , 1773. pp. 33 y ss. Freyssinet, el último gran constructor de puentes de fábrica (y también fundador de una nueva forma de construir los puentes, con hormigón armado), ideó un procedimiento análogo al propuesto por Turriano para centrar la línea de empujes. Consistía en colocar unos grandes gatos hidraúlicos y precomprimir la clave antes de introducir las últimas dovelas. El método está descrito en: E. Freyssinet «Perfectionnements dans la construction des grandes voûtes.» *Le Génie Civil,* Vol. 58, 1921. pp. 97-102, 124-128, 146-150.
31. Juanelo op. cit. fols. 375v-376r.
32. Ibídem.
33. Ibídem.
34. Fray Lorenzo de San Nicolás *Arte y Uso de Architectura. Primera parte.* Madrid: s.i., s.a. 1639. Suele decirse que la primera edición apareció en 1633, sin embargo tanto A. Bonet Correa como J. J. Martín González consideran más probable la de de 1639, año en que se firmó la fe de erratas del libro. Véase: A. Bonet Correa *Bibliografía de Arquitectura, Ingeniería y Urbanismo en España (1498-1880).* Madrid: 1980, vol. 1, pág. 88; y J. J. Martín González «Noticia del Arte y Uso de Arquitectura», prólogo de la edición facsímil, Madrid: Albatros, 1989, pág. 21.
35. Fray Lorenzo de San Nicolás *Segunda Parte del Arte y Uso de Arquitectura... Con el Quinto y Séptimo Libros de Euclides traducidos del latín en Romance y las medidas difíciles de Bóvedas y de las superficies y pies cúbicos de Pechinas...* Madrid: s.i., 1665.
36. Véase G. Kubler *Arquitectura de los Siglos XVII y XVIII. (Ars Hispaniae. Historia Universal del Arte Hispánico, vol.14).* Madrid: 1957, pp. 79-82, donde Kubler hace un excelente comentario sobre el tratado de Fray Lorenzo.
37. Fray Lorenzo, op. cit., primera parte, Cap. XXIIII, 'Trata de la fortificacion de un Templo'; Fray Lorenzo, op. cit., fols. 30v-31v.
38. Op. cit., fol. 31r.
39. Cap. XLII 'Trata de los generos delos Arcos, y de la forma que se ha de tener en labrarlos.', op. cit., fols. 64-74.
40. Op. cit., fol. 75r.
41. Op. cit. fol. 69r.
42. Cap. LXV *Trata del sitio conveniente para las puentes, y de su fabrica.*, Op. cit. fols. 121v-125r.
43. *Compendio de architectura y simetría de los templos conforme a la medida del cuerpo humano, por Simón García, architecto natural de Salamanca. Año 1681.* Ms. 8884, Biblioteca Nacional de Madrid. La primera edición facsímil completa del manuscrito fue realizada por Carlos Chanfón Olmos, Churubusco, México: 1979, con estudios introductorios de Antonio Bonet Correa «Simón García Tratadista de Arquitectura.», pp. vii-xiii, y del propio Carlos Chanfón «Simón García y la Antropometría.», pp. 7-37, y «Simón García y la Proporción Geométrica.», pp. 38-59. Otra edición más reciente, que parece inspirada en la anterior: Valladolid: Colegio Oficial de Arquitectos, 1991. 2vols.
44. Este es el caso, por ejemplo, de los capítulos 48 al 52 que tratan de la medida de las bóvedas que están literalmente transcritos del capítulo 80 de Fray Lorenzo. También lo están los capítulos 69 y 70. En muchos otros capítulos hemos visto transcirpciones literales, sin embargo, el orden del tratado de Simón García es distinto del de Fray Lorenzo y esto hace que las comparaciones sean difíciles. Hemos realizado un examen superficial que hace suponer que de una comparación detallada resultarían muchas más concordancias.
45. Simón García, *Compendio de architectura*, op. cit., fol. 40v-41v.
46. Este tipo de reglas «superficiales» no son frecuentes. En el libro de Carlo Fontana *Il Tempio Vaticano e sua origine.* Roma : Nella Stamparaia di Gio: Francesco Buagni, 1694, se recoge una regla de este tipo para dimensionar los soportes de las cúpulas. Al parecer estas reglas se remontan hasta la época bizantina: A. Petronotis. «Der Architekt in Byzanz». *Bauplanung un Bautheorie der Antike. (Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung 4.),* Berlin: Wasmuth, 1983. pp. 329-343. Para un examen detallado véase: S. Huerta. «Diseño estructral de arcos, bóvedas y cúpulas», op. cit., págs. 210-211.
47. Realizando un desarrollo algebraico sencillo se llega a que la regla establece la siguiente relación entre los dos parámetros adimensionales mencionados anteriormente, $L/A = \varphi$ y $L/e = \delta$: $\delta 2 - 2\delta - 2k\varphi = 0$ donde k es una constante de valor $k = \pi/3 + \sqrt{3}/12$.
48. Pietro Cataneo *L'Architettura di Pietro Cataneo Siene-*

se. Venecia: 1567. Citado por D. Wiebenson *Architectural Theory and Practice from Alberti to Ledoux*. Charlotesville: 1983, I-22.

49. Para una discusión en detalle sobre la validez de las reglas véase: S. Huerta, «Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas», op. cit, págs. 285-353.

50. El análisis límite de estructuras de fábrica ha sido desarrollado principalmente por el profesor Jacques Heyman de la Universidad de Cambridge. El profesor Heyman ha resaltado siempre el carácter fundameltamente geométrico del proyecto de estructuras de fábrica. Véanse por ejemplo: J. Heyman. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. Colección de ensayos*. ed. por S. Huerta Madrid : Instituto Juan de Herrera, 1995, y J. Heyman *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid : Instituto Juan de Herrera / CEHOPU, 1999.

51. La frase aparece en la base del frontispicio del primer tratado de puentes: H. Gautier. *Traité des Ponts*. Paris : 1716.

Características de los muros antiguos de Sevilla

Antonio Jaramillo Morilla
Carmen Rodríguez Liñán
José Luis de Justo Alpañés
Rocío Romero Hernández
Filomena Pérez Gálvez

La mayoría de los edificios antiguos de Sevilla, tienen una estructura formada por muros de carga de fábrica de ladrillo y forjados de vigas de madera. Pocos edificios presentan arcos y bóvedas.

A la hora de rehabilitar un edificio antiguo, los puntos más conflictivos suelen ser la viguería de madera y la fábrica de ladrillo.

El hecho de que una estructura haya permanecido de pie durante cientos o miles de años no significa que sea segura en su estado actual. La permanencia histórica no es garantía por sí de seguridad. Es necesario por tanto un análisis de la estructura y cimentación de los edificios, previo a cualquier intervención. Aunque existen muchas estructuras en el límite del colapso, el riesgo aumenta considerablemente cuando se proyecta una intervención en los edificios, ya que se modifican en general: las cargas, el sistema estructural (apoyos, rótulas, etc.), o los propios materiales (limpiezas agresivas de piedras).

Además, algunos hechos desdichados en la ciudad, han motivado el estudio de las características de estas estructuras de ladrillo antiguas. Por esta causa, hemos tenido acceso a varios ensayos realizados a las fábricas de ladrillo.

En la práctica de la rehabilitación es frecuente la necesidad de reutilizar muros de fábrica antiguos, sin que se posea un criterio objetivo de evaluación de las características resistentes. Además, la mayoría de nuestro patrimonio edificado tiene como parte fundamental de la estructura los muros, en sus distintas tipologías.

No es posible, física ni económicamente, mantener todas las edificaciones y muros antiguos, por que nuestra forma de vivir ha cambiado, pero una gran parte puede adaptarse y hacerse más eficiente.

La tierra fue el material con el que se construyeron ciudades como Igoulmime (Marruecos), murallas como las de Chan Chan en Perú, templos como el de la Isleta de Méjico o la gran mezquita de Djenne en Mali. Actualmente, más de 1.500 millones de personas, viven, se alojan, o simplemente se protegen de la intemperie, mediante construcciones de este tipo.

En octubre de 1989, tres arquitectos, presentamos a la Dirección General de Arquitectura de la Junta de Andalucía, un proyecto de investigación titulado *Investigación sobre las características resistentes de los muros antiguos de fábrica, tapial, adobes y mixtos*. El presupuesto era de 7,5 millones, de los cuales más de la mitad correspondían a ensayos y más de un millón a gastos burocráticos y material. La Junta de Andalucía nunca nos contestó. Los responsables políticos consideraban que no era interesante estudiar los muros antiguos.

Pasos a seguir en los estudios de muros

Por otro lado, toda intervención de rehabilitación o reparación sobre un edificio o monumento requiere:

- Conocimiento de los materiales: peso específico, densidad, compacidad, porosidad, módulos de

deformación, coeficiente de Poisson, etc.
- Conocimiento de las cargas que han actuado sobre el edificio, incluyendo su propia construcción.
- Conocimiento del esquema estructural actual: apoyos, rótulas, empotramientos, etc.
- Similitud del modelo en su estado actual con el modelo que hemos generado.
- Previsiones de carga, materiales y esquema de apoyos del modelo durante y tras la intervención.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los muros de las construcciones antiguas, son en general de formato mayor que los actuales, y los ladrillos también. Sin embargo, las características de los morteros del siglo XVIII dejan bastante que desear. El punto débil de las fábricas estamos encontrando que es el mortero, en general de cal, y que se encuentra en dosificaciones muy diferentes de la considerada tradicional 1:3. Ésto nos lleva a pensar que las resistencias asignadas a estas construcciones suelen ser superiores a las reales.

Además, nos encontramos con grandes heterogeneidades en su masa. Suelen aparecer zonas con rellenos de adobe con restos de elementos cerámicos, yeso o antiguos cargaderos, totalmente podridos.

Proponemos en este artículo la creación de una base de datos de características de los muros, dando especial importancia a su antigüedad, y características resistentes.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE MUROS

El objetivo suele ser establecer ensayos no destructivos rápidos para la determinación de las características mecánicas, para lo que era necesario una comparativa con ensayos destructivos. Los tipos de ensayos que utilizamos son:

- Ultrasonidos.
- Resistencia eléctrica.
- Medida de propiedades dinámicas (vibraciones ambientales).

En el método de ultrasonidos se mide el tiempo que una onda ultrasónica tarda en recorrer un medio desde el punto emisor hasta el captador. Nos permite relacionar velocidades con módulos de elasticidad y por tanto con resistencias.

Otro método de ensayo no destructivo está basado en la relación que existe entre su resistencia al paso de una corriente eléctrica, su masa y su porosidad y como consecuencia, con su resistencia y deformabilidad. Lógicamente tiene bastante influencia la humedad del material. Son necesarios medidores de alta capacidad, debido a la gran resistencia eléctrica de estos materiales.

Para medir la rigidez estructural, «in situ», utilizamos un equipo de vibraciones dinámicas, con una sensibilidad suficiente para activarse con los movimientos producidos por el tráfico y el viento (vibraciones ambientales).

El equipo es un sistema portátil de campo, modelo Kinemetric que está formado por los siguientes elementos:

- Acelerógrafos electromagnéticos modelo SC-1 de la marca Kinemetric.
- Condicionador de señales modelo SC-1 para cuatro canales, que incorpora funciones de integración y derivación de la señal del acelerógrafo.
- Grabador de la señal, para su posterior análisis. Registrador analógico FM, modelo Hewlett Packard 3964.
- Juego completo de cables de interconexión.
- Analizador de espectros de respuesta modelo Bruel-Kjaerr.

En las figuras 1 y 2 podemos ver estos equipos.

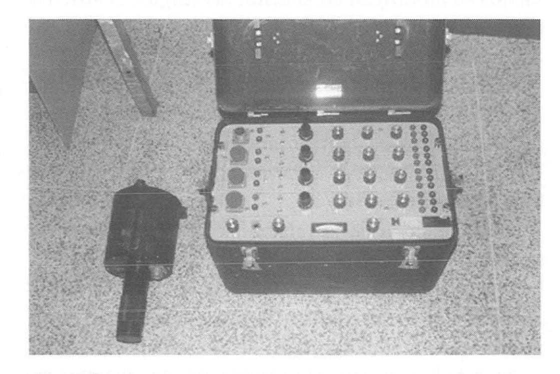


Figura 1.
Acelerógrafo y equipo de registro

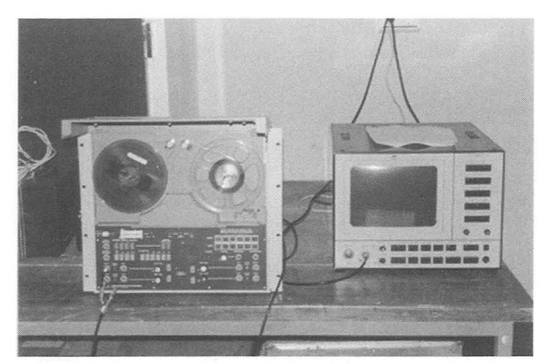


Figura 2
Magnetófono para la señal y analizador de señales

Por ejemplo, en la calle Betis 19, los acelerógrafos fueron colocados en dos posiciones diferentes:

- Posición 1. En el hueco del balcón de primera planta. Se realizaron tres medidas: Paralela al eje de la calle, perpendicular al mismo eje, y medida de vibraciones verticales.
- Posición 2. Sólo pudieron realizarse dos medidas: paralela y perpendicular al eje de la calle.

Edificio c/ Betis n.º 19

El edificio por sus características y tipología de fachadas y huecos se puede fechar como del último tercio del siglo XIX. Consultada la documentación existente en el archivo municipal aparecen expedientes de obras de reforma interiores y fachada que podrían corresponder al edificio que nos ocupa en los años 1935 / Exp: 515 y 1945 / Exp: 334. Dada su baja calidad constructiva y la ausencia de elementos significativos de valor histórico esta edificación no se encontraba reseñada ni catalogada en el Diccionario Histórico de Sevilla de Collantes de Terán A. ni en otros editados por la Consejería de Obras Publicas y Urbanismo. En la figura n.º 3 podemos ver la fachada en su conjunto, antes del cierre de los huecos.

Se trataba de un edificio de tres plantas entre medianeras, con fachada a la calle Betis n.º 19. La fachada tiene 18 metros de longitud y una altura hasta remate de antepecho de 13,1 m, como podemos ver en la figura 4.

La estructura horizontal del edificio se resolvía mediante forjados de vigas de madera y tablazón del



Figura 3
Esquema de la fachada del edificio

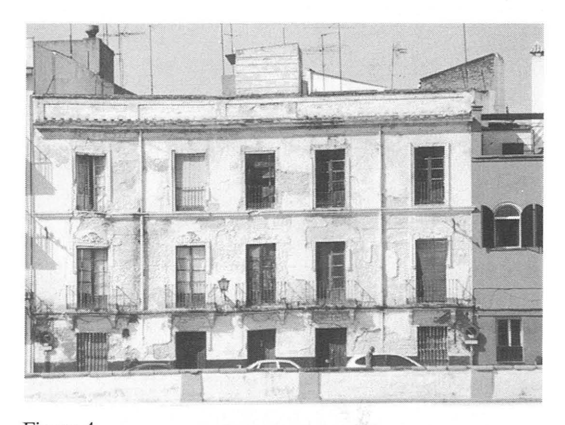


Figura 4
Estado de la fachada del edificio C/ Betis n.º 19

mismo material, apoyados en muros de carga de fábrica de ladrillo o cargaderos de madera en la zona del patio central.

Los forjados y vigas de madera eran de pino silvestre y los muros de cargas de fábrica de ladrillo tomada con mortero de cal.

La fachada está resuelta mediante repetición de huecos alineados, formados por balcones volados de hierro forjado en primera planta y huecos enrasados hasta el suelo en planta segunda. Las ventanas y las tres puertas están distribuidas simétricamente en planta baja. Los elementos decorativos se reducen al

recercado de molduras trenzadas simples en planta baja y segunda y rematadas con penachos de temas florales en balcones de primera planta (estas molduras han desaparecido) en la actualidad sólo quedan vestigios o huellas de las mismas.

La azotea es transitable y se accede a ella mediante una escalera ubicada en la primera crujía de fachada y en el eje medio de la planta.

Estado del muro cuando se estudió

El muro estaba constituido por una fábrica de ladrillo de 54 cm de espesor (dos pies) tomada con mortero de cal de muy baja calidad, está aparejada de forma muy irregular puesto que existen zonas de distinto tipo de ladrillos y aparejo que corresponden a modificaciones de los huecos de planta baja en actuaciones anteriores (figura 5). También aparecen recrecidos de la fábrica realizados con restos de teja y morteros de baja calidad.

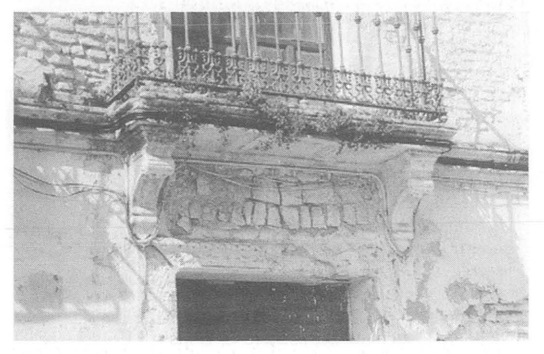


Figura 5
Detalle de las piedras sin trabazón en cargadero

La mayor parte de la fábrica que se descubre bajo el enfoscado que aún queda, ha perdido el mortero entre llagas y tendeles. También ha aparecido un durmiente de madera atacado por termitas embebido en la fábrica del muro de planta baja, a una altura de 1,50 m entre dos de los huecos, como vemos en la figura 6. Los elementos decorativos de recercado de huecos han desaparecido.

En un análisis visual del muro de fachada se detectaban las siguientes deformaciones y daños:



Figura 6
Detale del cargadero de madera en hueco ventana

- Existe una clara deformación de la fachada en sentido longitudinal, hacia la zona entre el segundo y el tercer hueco de fachada de la zona izquierda. Las deformaciones vienen provocadas probablemente por un cedimiento o asiento de esas zonas justificado por un vertido del agua de alcantarillado en el entorno. Esta deformación está más acusada en la zona izquierda y central de la fachada observada desde el exterior. El asiento de la cimentación ha sido inadmisible para la fábrica, agrietándose en los dinteles de los balcones de primera y segunda planta del primer al tercer tramo de la fachada. El resto se ha adaptado a la deformación, siendo evidente en la inclinación de la línea horizontal de los dinteles y de los vuelos de los balcones.
- Antes de demolerlo, al estar tabicados los huecos por razones de seguridad, se observaban perfectamente las deformaciones existentes que pueden ser de varios centímetros de inclinación respecto a la horizontal en muchos puntos.
- Los enfoscados habían desaparecido en su mayoría, dejando al descubierto una fábrica de ladrillo de muy baja calidad y con grandes irregularidades como ya hemos descrito.

Este muro de fachada es la estructura portante de los forjados de la primera crujía del edificio en todas las plantas y del descansillo de la escalera. Desde el interior, cuando están al descubierto se puede apreciar que la vigas empotradas en el muro tiene en un alto porcentaje las cabezas empotradas atacadas por hongos de pudrición, debido a una humectación con-

tinuada por agua de lluvia, tanto a través de la fachada (cornisas, balcones) como de la cubierta. Por lo tanto habrá un porcentaje muy alto de vigas que han perdido las cabezas empotradas en el muro o tienen un apoyo deficiente. Todo ello conlleva una falta de arriostramiento adecuado en sentido perpendicular a la fachada, además de un apoyo y sustentación deficiente de las primeras crujías.

El martes 9 de abril de 1999 se extrajeron las muestras necesarias por parte del personal del laboratorio. Los ensayos se han realizado en el laboratorio de la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, y nos han sido remitidos con fecha 2 de diciembre de 1999. Los datos obtenidos podemos resumirlos de la siguiente manera:

- Geometría de la fábrica
- Composición química del mortero.
- Características físico-mecánicas del mortero y del ladrillo.

Se tomaron muestras en tres zonas: Zona A entre los dos huecos extremos a la izquierda de la fachada, cuyo hueco se aprovechó para colocar el acelerógrafo, como vemos en la figura 7. Muestra de la Zona B, entre los huecos centrales de la fachada, y muestra C en el extremo derecho de la fachada

No han podido realizarse ensayos de compresión de la fábrica completa, dado su estado de disgregación y composición de dos hojas no trabadas. Ni siquiera han podido realizarse ensayos de compresión del mortero, dado el estado de disgregación en que se encontraba. Como dice el informe del Laboratorio: la falta de una cohesión mínima en el mortero ha impedido el tallado de probetas de cualquier tipo.

- Fábrica en general de dos pies, tomados con mortero de cal de muy baja cohesión (los terrones se deshacen fácilmente con los dedos).
- Ladrillo macizo artesano de 282 x 141 x 52 cm
- Llagueado horizontal enrasado de 31 cm
- Llagueado vertical enrasado de 42 cm

El revestimiento superficial del paramento está deteriorado, con pérdida de material de revestimiento y del mortero de las llagas de hasta 5 cm de profundidad en algunos lienzos.

Una de las zonas del muro estaba tomada sorprendentemente mediante mortero de yeso (muestra B en exterior).



Figura 7
Situación del acelerógrafo en el punto de extracción de la muestra

La muestra A tiene una proporción de óxido de calcio dosificado inicialmente del 7,53%, lo que equivale a un mortero de proporción 1:13.

La muestra B tiene una proporción de óxido de calcio dosificado inicialmente del 5,69%, lo que equivale a un mortero de proporción 1:18.

Lo normal es que los morteros de cal tengan dosificaciones 1:3. Es decir, inicialmente, el mortero se dosificó con la cuarta o sexta parte de la cal que debería de haber tenido.

Además, la proporción de óxido de cal no carbonatado es del 0%. En condiciones normales, el óxido de cal no carbonatado con relación al dosificado inicialmente debe de estar en una proporción del 50% para los primeros 100 años.

Los ensayos de cal no carbonatado indican que el mortero ha llegado a su fase final y está completamente disgregado. La cal existente no proporciona ninguna cohesión. Por esto no se han podido tallar muestras de los morteros.

El ladrillo si tiene una buena resistencia característica de 162 kp/cm^2.

La resistencia a compresión de la fábrica no podemos estimarla con ensayos, como mucho tenemos 100-200 kPa (antes de aplicar ningún coeficiente de seguridad). La resistencia a tracción es nula.

De esta forma, se consiguieron 5 medidas de señales para la determinación de las frecuencias de vibración. Las medidas fueron realizadas el día 9 de Noviembre a las 9 de la mañana, con un viento moderado-ligero. La labor de medida de campo duró 3 horas.

Luego una estimación aproximada del periodo sería de 0,097 a 0,1 s.

Si consideramos el muro como un elemento ménsula, el módulo de elasticidad de la fábrica de ladrillo, podría estimarse, despejando de la expresión:

$$T = 2\pi/w = 2\pi\sqrt{\frac{m}{E_d I}}$$

$$T = 2 * 3{,}1416 * (170 / (E_d * 0{,}277)^{0,5} = 0{,}097$$

Tenemos que E_d = 2578648 kPa = 25786,48 kp/cm^2.

El módulo de elasticidad estático es aproximadamente el dinámico dividido por 2,5, lo que es lo mismo:

$$25.786{,}48/2{,}5 = 10.314{,}49\ kp/cm\approx = 103.145\ kPa$$

El análisis dinámico *in situ* indica que la frecuencia fundamental del edificio es de 0,225 Hz, o lo que es igual, un periodo de 1/0,225=4,44 s.

Si dividimos el periodo real por el periodo que debería tener el edificio, vemos que existe una proporción de 45,81. Esto es, la rigidez estructural del edificio es 1/46 veces la que debería tener. El muro de fachada se encuentra por tanto suelto, y se encuentra formado por materiales con módulos de elasticidad bajo, o muy deteriorados.

EDIFICIO C/ BUSTOS TAVERA

El proyecto contemplaba la rehabilitación de una serie de viviendas situadas en la calle Bustos Tavera número del 35 al 41. Se trata de un edificio entre medianeras, en un solar de geometría irregular.

El edificio proyectado tiene tres plantas sobre rasante, baja más dos y una planta de sótano para aparcamiento de vehículos. Se contempla el mantenimiento del muro de fachada, aunque aumentando las dimensiones de algunos de los huecos de la planta baja, con objeto de permitir la entrada de vehículos rodados al interior del edificio. También se conservan las dimensiones y disposición de los patios interiores.

El solar sobre el que se construye es el resultado de la agrupación de cuatro viviendas colindantes situadas en la calle Bustos Tavera n.º 35,37,39,41. De estas edificaciones sólo se pretendía conservar la primera crujía y fachada a la calle Bustos Tavera y los patios en ubicación y tamaño tal como se había establecido por la Comisión de patrimonio.

Antes del comienzo de las obras, el muro de fachada se encontraba arriostrado por una de sus caras por los forjados del edificio preexistente. Durante las obras, en la zona de la medianera con la casa número 33, se eliminó la primera crujía.

Los edificios que constituyen la unidad sobre la que se actúa eran de los siglos XVII Y XVIII y se encuentran reseñados en el libro *Arquitectura Civil Sevillana* de Collantes de Terán y Gómez Stern. Las características constructivas de estos edificios responden a las tradicionales de los edificios de esa época en la ciudad de Sevilla. Son edificaciones de dos a tres plantas con tipología constructiva de muros de carga de fábrica de ladrillo tomada con mortero de cal y forjados de vigas de madera tablazón del mismo material y rellenos de mortero y ladrillo, con acabado de solería también de material cerámico. Normalmente estas edificaciones han sufrido multitud de reformas (añadidos, ampliaciones) que en muchos casos dificultan la comprensión estructural de las mismas. El estado de conservación en este caso no era muy bueno existiendo un expediente de ruina del edificio de la c/ Bustos Tavera n.º 35.

Para la ejecución de la obra de nueva planta proyectada se procedió a una demolición de toda la edificación. En estos trabajos no se incluyen la primera crujía y la fachada a la calle Bustos Tavera. Antes del siniestro la fachada estaba exenta, sin los forjados de la primera crujía en el trozo que corresponde al n.º 35. Esto fue debido al estado ruinoso de esta zona que hizo imposible mantener este trozo de la primera crujía. En el resto de la fachada existían los forjados correspondientes.

El muro estaba formado por dos hojas separadas, como vemos en la figura 8.

La foto-composición (figura 9) indica el estado de la fábrica. Corresponde a nuestra mano, y es el proceso de llevarnos un trozo de ladrillo, sin ningún tipo de esfuerzo, dado el estado de los morteros. Éste es el estado general que tenía el muro de fachada.

El 28 de abril de 1998 se extrajeron las muestras necesarias por parte del personal del laboratorio, como vemos en la figura 10. Los ensayos se han realizado en el laboratorio de la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, y los datos obtenidos podemos resumirlos de la siguiente manera:

Figura 8
Detalle del muro con las dos hojas en el encuentro con la medianera del núm. 33

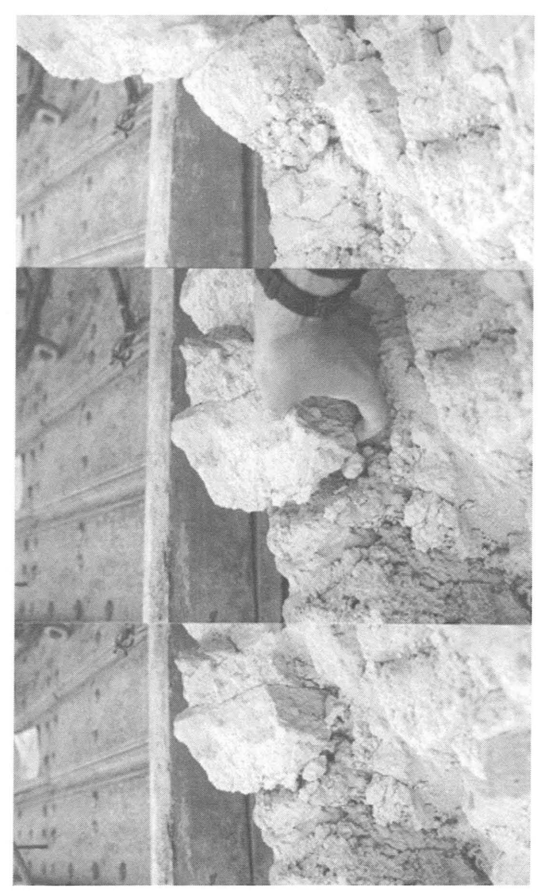


Figura 9
Detalle de la cohesión del mortero. Se arrancan los ladrillos con los dedos

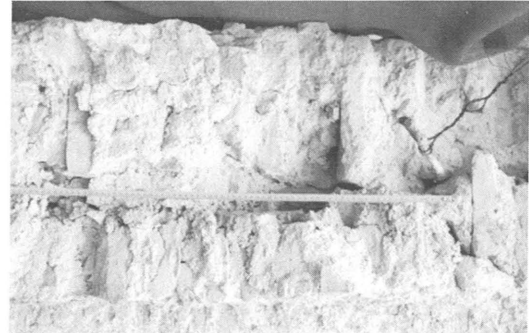


Figura 10
Detalle de la muestra extraída por el Laboratorio

- Geometría de la fábrica
- Composición química del mortero.
- Características físico-mecánicas del mortero y del ladrillo.

No han podido realizarse ensayos de compresión de la fábrica completa, dado su estado de disgregación y composición de dos hojas no trabadas.

- Fábrica en general de pie y medio de trabazón irregular y alto aprovechamiento de ladrillos rotos (medios y tercios), tomados con mortero de cal de baja cohesión (los terrones se deshacen fácilmente con las manos, como vimos en la figura 9).
- Ladrillo macizo artesano de 255 x 102 x 52 cm
- Llagueado horizontal enrasado de 52 cm
- Llagueado vertical enrasado de 21 cm
- Inclusiones de ripios en el interior del doblado. Aspecto enjabelgado.
- Por el contenido de cal, se deduce que la fábrica puede ser del siglo XVII, por la carbonatación de la cal.
- También el análisis granulométrico de los componentes del mortero, evidencian que eran poco compactos, con gran cantidad de huecos. Las curvas granulométricas se separan claramente de la óptima compacidad: densidad aparente del mortero entre 1,33 y 1,45 g/cm3.
- El ladrillo tiene una resistencia característica de 9,75 N/mm^2, que supone aproximadamente 95,6 kp/cm^2.
- El mortero tiene una resistencia a compresión entre 0,51 y 2,75 N/mm^2, es decir entre 5 y 27 kp/cm^2.
- Con estas características, la fábrica en su conjunto tiene una resistencia aproximada según la NBE-FL-90:

$$R_{ck} = R_c - 1{,}64\ \sigma$$

$$\sigma \sqrt{\frac{\Sigma\,(\mathrm{R}ci - R_c)^2}{n-1}}$$

$$R_{ck} = 14{,}5 - 1{,}64 * 11{,}30 = -4.03\ kp/cm^2$$

Es decir, la dispersión de la resistencia del mortero, es tan grande, que estadísticamente llega a ser negativa. Si consideramos la resistencia mínima tenemos que es de 0,51 N/mm^2, aproximadamente 5 kp/cm^2. La resistencia combinada del ladrillo, y la del mortero, hace que la resistencia de la fábrica sea según una extrapolación de la tabla 5.1 de la FL-90, de 3-4 kp/cm^2 (con juntas superiores a 1,5 cm).

Proceso a seguir

- Tomar muestras de la fábrica y analizarlas en laboratorio homologado.
- Medir las características dinámicas a partir de las vibraciones producidas por el viento y el tráfico, mediante un equipo adecuado (Kinemetric o similar). A partir de estas medidas dinámicas, podemos determinar el módulo de deformación, así como las condiciones de sujeción de la fábrica.
- Recoger todas las características del muro: inclusión de maderas en la fábrica, algunas de ellas de ellas completamente comidas por las termitas, restos de ripios, tejas, y tapial en el propio muro, grietas, deformaciones, etc.

Características de los muros

- En muchos muros no pueden tomarse muestras de los morteros para ensayarlos a compresión simple, dada la falta de una cohesión mínima.
- La fábrica no suele ser homogénea, y se aprecian normalmente múltiples inclusiones de materiales sin resistencia, como maderas con termitas, morteros de yeso, restos de tejas y ripios, etc.
- La resistencia real que podemos asignarle a la fábrica (puesto que tiene tan pésimas características que no se han podido tomar probetas), no supera los 100-200 kPa a compresión, y prácticamente nula a tracción.
- Lo peor de toda la fábrica suele ser el mortero, que apenas tenía cal de origen, y la que tiene, ha perdido sus características cohesivas. La dosificación inicial era de 1:13 a 1:18. Es decir tiene del orden de la cuarta a la sexta parte de la cal que debería de tener, y además, es de mala calidad.
- Las medidas dinámicas del edificio sirven para confirmar la calidad de los morteros, y los huecos existentes en el muro.
- Las medidas dinámicas también confirman los apoyos de los muros, y la posible existencia de rótulas o ménsulas.

Por otra parte, los análisis por elementos finitos del estado tensional de muros, como podemos ver en la figura 11, pueden indicar:

- Existencia de zona con esfuerzos relativamente importantes (compresiones superiores a 400 kPa y 60 kPa de tracción).
- La desproporción entre lo que resiste la fábrica y las cargas reales de la estructura, justifican normalmente su estado: grietas, desprendimientos, curvaturas de paños completos, etc.
- Suelen apreciarse en los muros deformaciones probablemente por fallos de cimentación, coincidentes con saneamientos defectuosos, riadas, etc.
- En muchas ocasiones, los morteros no son tales, sino más bien áridos sueltos, y no proporcionan cohesión al conjunto.
- Deben de eliminarse los revestimientos exteriores para descubrir las zonas con elementos extraños: rellenos con maderas que han desaparecido, inclusiones de tierra, escombros, etc.
- Deben de estudiarse las grietas y fisuras, que han creado zonas sueltas en el muro, rótulas plásticas, falta de continuidad, ménsulas, etc.
- Muchos muros suelen estar formados por dos hojas paralelas sin trabazón.

Estas características de los muros hacen que en algunos casos la reparación sea imposible.

¿Cómo puede sustituirse el mortero existente en todas las llagas del muro?.

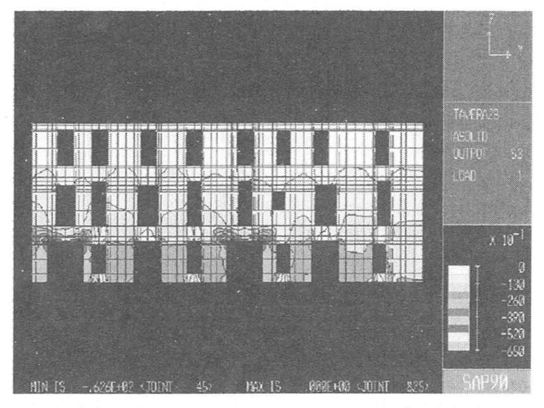


Figura 11
Tensiones de compresión en el muro de Bustos Tavera

Lo único aprovechable serían los ladrillos, insuficientes para reconstruir el mismo muro, dada la existencia de cuerpos extraños en el mismo.

Cuando se obtienen pésimos resultados de los ensayos, la propuesta de actuación no puede ser otra sino recomendar la demolición controlada y urgente del muro.

Podrían estudiarse otro tipo de soluciones, como gunitado y armado con malla exterior del muro, pero sería desvirtuar totalmente el esquema del muro, y utilizarlo como un relleno pésimo, cuando el exterior sería el nuevo material a utilizar, que tendría que aguantar además un relleno pesado, y suelto.

Cimentaciones y construcciones en arcillas expansivas: de la Itálica romana al PP-1 de Santiponce (Sevilla)

Antonio Jaramillo Morilla
José Luis de Justo Alpañés
Rocío Romero Hernández

Recientemente se ha urbanizado una zona de Santiponce, conocida como Plan Parcial nº1 (PP-1), con una previsión de 452 viviendas en una superficie de 11,3 Ha, muy próxima a los restos de la Itálica romana. De hecho, una parte ocupa las áreas de enterramiento documentadas de la Itálica romana. La NOVA URBS de Itálica tiene una superficie aproximada de 40 Ha.

Las condiciones geotécnicas e hidrológicas han condicionado siempre esta población. Son conocidos de siempre, en esta región los llamados terrenos de «bujeo». Además, ya en 1603, una avenida del Guadalquivir, obligó a la reconstrucción de Santiponce sobre parte de la zona más antigua de Itálica.

La antigua población de Itálica tuvo problemas relacionados con la expansividad del terreno: los restos arqueológicos descubiertos se encuentran con grandes deformaciones y grietas. Incluso en las restauraciones recientes se observa la aparición de nuevas grietas originadas por la expansividad del terreno. No parece que fuera ésta la causa determinante de la desaparición de parte de la ciudad.

Por otro lado, en el Plan Parcial n.º 1 se han detectado recientemente serias patologías en al menos cuatro promociones, con un claro origen de cimentación. Por ejemplo, en la promoción Villas de Itálica, 24 Viv. En la parcela 13. También existen daños en varias viviendas de la parcela 20, así como en las parcelas 5 y 8 del PP1, c/ Plácido Fdez. Viaga nº31 y c/ La Almedra nº32 (trasera).

Esta situación, dada la diversidad de sistemas constructivos y de cimentación utilizados, hace que Santiponce sea un magnífico laboratorio a escala real para estudiar el comportamiento de las diferentes soluciones constructivas antiguas (romanas), o más recientes, nuevas viviendas y restauraciones en el recinto arqueológico.

Los diferentes sistemas de pavimentación de calles y acerados, las zonas ajardinadas, sistemas constructivos de muros, forjados, etc. tienen una respuesta singular ante un terreno potencialmente expansivo.

Formación de ambas zonas

En la figura 1 podemos ver la situación de ambas zonas respecto a Santiponce.

La fundación de Itálica se realizó en el año 206 (a.C.), tras la batalla de Ilipa por el general romano Escipión. En el año 124 d.C. Adriano ayudó económicamente al embellecimiento de muchas ciudades del imperio, entre ellas Itálica. Esta ayuda permitió la creación del nuevo barrio (NOVA URBS).

El Plan Parcial PP-1 fue aprobado definitivamente el 31 de Enero de 1989. Son terrenos cuya urbanización corresponde a la Empresa Pública de Suelo de Andalucía, aunque las parcelas resultantes han sido vendidas o cedidas en parte a promotores privados y al Ayuntamiento de Santiponce.

La ordenación de los dos conjuntos parece incluso semejante si nos fijamos en el trazado. En Itálica, las orientaciones principales eran Este-Oeste coinciden-

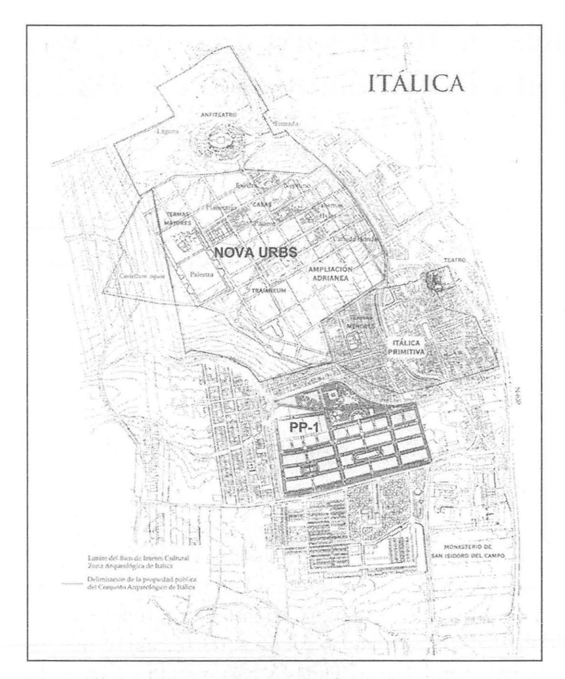


Figura 1
Planta de situación

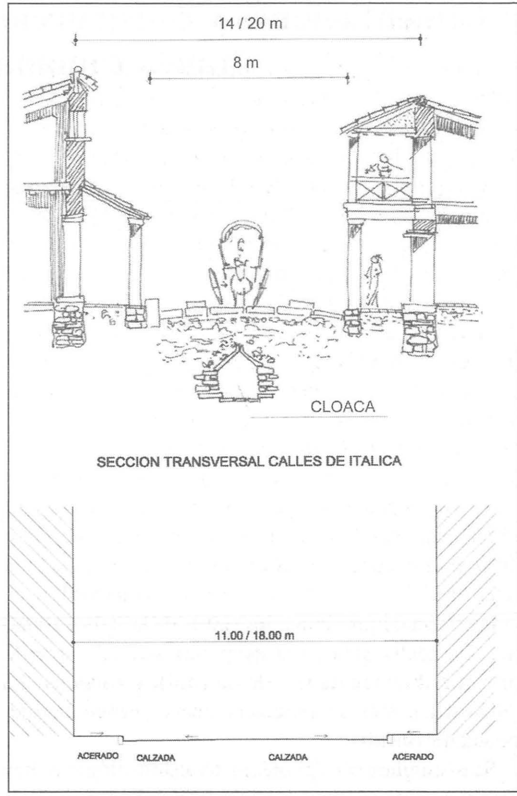


Figura 2

tes con la dirección del decumano. Las secundarias eran las Norte-Sur, que lo eran respecto al cardo. En el PP-1 se ha seguido la misma orientación principal.

En la figura 2 podemos ver una comparación entre el diseño de las calles de ambas zonas.

Por ejemplo, la pavimentación de las calles nuevas del Plan Parcial se ha realizado mediante solería de tacos apoyadas directamente sobre un lecho de arena (figura 3). La existencia de zonas ajardinadas muy próximas a las viviendas, ha provocado que los cambios de humedad debido a las condiciones climáticas sean superiores que los producidos en la Itálica romana.

Por el tipo de construcciones empleados, las cargas transmitidas al terreno son además muy diferentes: las construcciones romanas transmiten en general cargas continuas mediante elementos flexibles (muros con morteros de cal), frente a las nuevas construcciones, que transmiten al terreno cargas puntuales mediante elementos rígidos, tales como pozos, zapatas, riostras, vallas, etc.

Realizaremos un estudio de los diferentes sistemas constructivos y de las cementaciones utilizadas, exponiendo las ventajas e inconvenientes verificadas en este magnífico laboratorio de ensayos, que son Santiponce e Itálica.

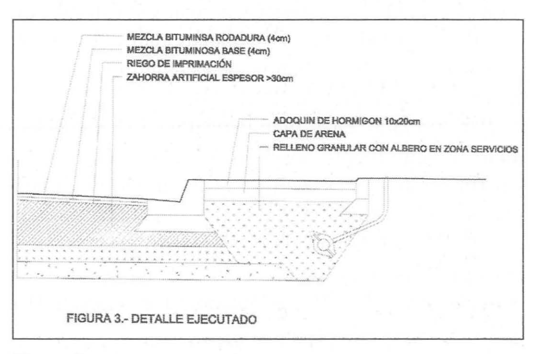


Figura 3

Características del terreno

El objeto de estudio se encuentra al sur de la importante fractura del Guadalquivir, que separa dos zonas geológicas totalmente diferentes, una de afloramientos rocosos de topografía montañosa, situada al Norte, y otra de materiales de relleno que configuran la llanura de dicho río, al Sur. El basculamiento de bloques producidos con el hundimiento del situado al Sur de dicha fractura, ha originado en esa zona una importante cuenca de relleno que se ha ido colmatando durante diferentes épocas geológicas, con aportes litológicamente distintos.

Como base de dicho relleno se localizan en la zona unas margas azules depositadas durante el Mioceno y de potencia considerable. Sobre ellas, y ya en épocas cuaternarias, se han abierto paso las aguas del Guadalquivir, depositando gran material de arrastre aluvial en distintas secuencias, que han dado origen a distintas terrazas, y en último término, al cauce del actual río.

Estos depósitos comprenden elementos finos (arcillas y limos) y gruesos (arenas y gravas), en general bien rodados y de naturaleza silícea distribuidos irregularmente, pero ordenados en cuanto a la secuencia de sedimentación.

Se distinguen los siguientes niveles:

- Nivel I: Relleno artificial.
- Nivel II: Arcilla marrón verdosa. Espesor aproximado hasta los 15 m. En general es una arcilla de alta plasticidad (CH). Algunas muestras dan CL entre 4,5 y 5,5 m. Porcentaje de finos (T200) en general superior al 90%. Humedad natural entre 22 y 27%. Densidad seca de 1,70 a 1,8 t/m^3 y peso específico natural de 21 a 22 kN/m^3. Ángulo de rozamiento entre 14 y 20º. Cohesión efectiva de 25 a 40 kPa. Módulo de deformación de 100 a 400 kp/cm^2. N=25. Límites líquidos entre 45 y 65. Indice de plasticidad de 27 a 35. Resistencia a la compresión simple media de 430 kPa.
- Nivel III: Arcilla margosa gris azulada. Número de golpes de 50 a rechazo. Peso específico aparente 21 kN/m^3. Ángulo de rozamiento 20º. Cohesión efectiva 40 kPa. Módulo de deformación 400 kp/cm≈.

El nivel II, que es donde se apoyan las cimentaciones, es el de características expansivas. Su aspecto, lo vemos en la figura 4.

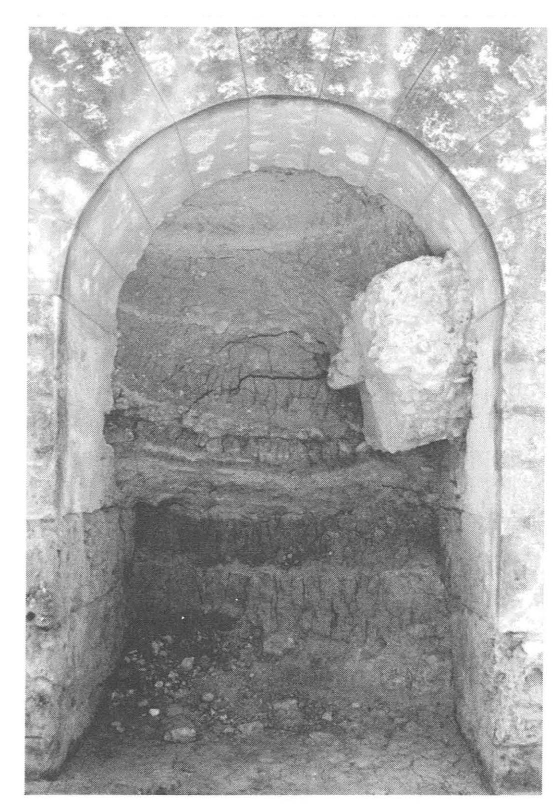


Figura 4
Aspecto del nivel II.

En cuanto al clima, presenta ciclos de humedad y sequía muy contrastados. Así por ejemplo, de Septiembre de 1996 a Diciembre de 1997 se registraron 1365,7 mm de lluvia (en 16 meses), lo que indica precipitaciones muy intensas. Sin embargo de Junio a Noviembre de 1998 sólo se registraron 96,7 mm (precipitaciones muy bajas). Entre Junio y Enero de 1999 155,5 mm.

Características de ambas urbanizaciones

Zona Nova Urbs

La red de alcantarillado (CLOACA) permite en todo momento el recorrido al menos, por una persona encorvada. Además todos los cruces estaban señalizados en la calzada mediante una piedra rosa, por lo

que no existían errores de localización. En la figura 5 vemos una representación de los diferentes tipos de secciones. La sección mínima era de 50 x 100 (5000 cm²).

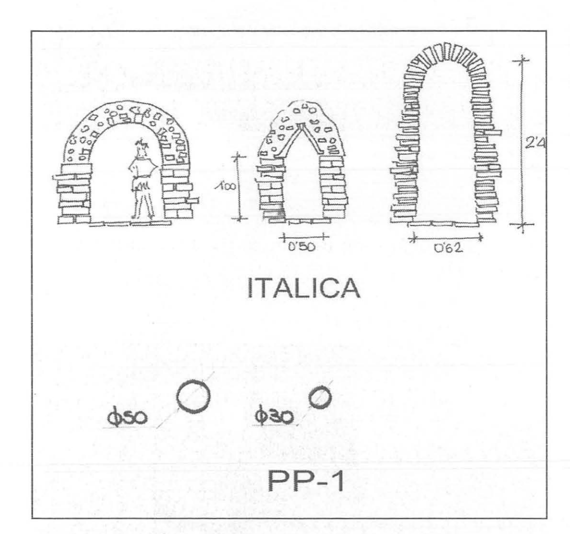


Figura 5
Secciones tipo de alcantarillado.

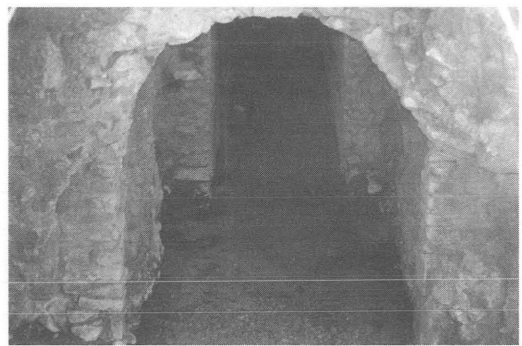


Figura 6
Cloaca original de itálica.



Figura 7
Saneamiento actual dentro de las ruinas.

La diferencia entre los sistemas de evacuación de aguas, antiguo y nuevo, la vemos entre las figuras 6 (red original de Itálica), y 7 (saneamiento actual realizado dentro de las propias ruinas de Itálica)

La conducción de agua (aquae ductus) fue especialmente construida para la población: registros, túneles y acueductos. Fueron 37 km. desde unos manantiales cercanos a Tejada (Itucci), próxima a las localidades de Paterna del Campo y Escacena del Campo (Huelva). La pendiente media de la canalización es de 50m/37000m (aproximadamente del 1,35 por mil). El castellum aquae (reconstruido), tiene capacidad de 900 m³. La distribución de agua hasta las viviendas se hacía mediante tuberías de plomo. El caudal aportado por las Fuentes de Tejada era de 13.000 m³ diarios.

En Itálica las calzadas estaban pavimentadas con grandes losas traídas de Tarifa y aceras porticadas (aún se conservan los arranques de los pilares). Las aceras tenían 15 cm de altura respecto a la calzada, con objeto de que los vehículos no invadieran la zona reservada a peatones. Además la calzada estaba atravesada por una hilera de bloques equidistantes entre sí, con la finalidad de facilitar el cruce de la calle a los peatones y frenar la velocidad de los vehículos. Además los bloques, en caso de lluvia torrencial e inundación permitían el paso peatonal por encima de ellos.

En general la altura de la edificación no superaba a dos veces la anchura de la calle. Además la marquesina protegía del sol y de la lluvia a los viandantes.

Zona PP-1

En el plan la sección mínima es de 707 cm≈ (diámetro 30 cm) y la sección máxima de 1964 cm≈. Pendientes entre el 1 y 2,85%.

La explanada de la calzada es una capa de albero de 20 cm en los casos de desmonte o terraplén infe-

rior a 1 m. Cuando el terraplén sea superior a 1 m se eliminará la capa de albero, el préstamo tendría que haberse realizado con terrenos tipo E-1.

El firme está constituido por:

- Subbase de zahorra natural de 20 cm de espesor
- Base de zahorra artificial de 30 cm de espesor
- Mezcla bituminosa de 8 cm de espesor (dos capas de 4 cm cada una superpuestas).

En los acerados, las baldosa son de 10x20 sobre arena sin mortero en la parte inferior. En la memoria estaba recibida con mortero 1:4 de 350 kg y base de H-150 de 15 cm. Los bordillos entre calzada y acerado son de hormigón.

Las pendientes de evacuación de las calles son del 1% (aparcamientos, cruces, planos, etc.) y del 2% en sentido transversal.

El suelo tiene características de *suelo tolerable*. Sin embargo para los terraplenes con altura superior a 1 m es necesario que sea *suelo adecuado*.

La canalización de agua en el Plan Parcial se realiza mediante tuberías de fibrocemento en malla principalmente de 200 mm y ramales de 100 mm. El consumo diario previsto oscila entre 270-350 m^3.

Características de las construcciones

Es curioso cómo en el diseño constructivo de la NOVA URBS de Itálica se tuvieron en cuenta las condiciones climáticas de la región, a diferencia del PP-1 en el que parecen no haberse considerado. Repasaremos algunas de ellas.

Porches y galerías cubiertas

La falta de protección, hace que la cimentación de los edificios del PP-1 se vean muy afectados por las condiciones climáticas. En cambio, en los edificios de la ciudad de Itálica, al tener el porche, la construcción principal está protegida. En la figura 8 vemos una reconstrucción en las ruinas de Itálica de la parte inferior del porche y comercios. En la figura 9 vemos una imagen de calle desolada, sin adaptación al terreno, con pendiente forzada del PP-1. Idem en las figuras 10 y 11. Si nos fijamos en esta última, vemos que las losas no resisten el paso de vehículos.

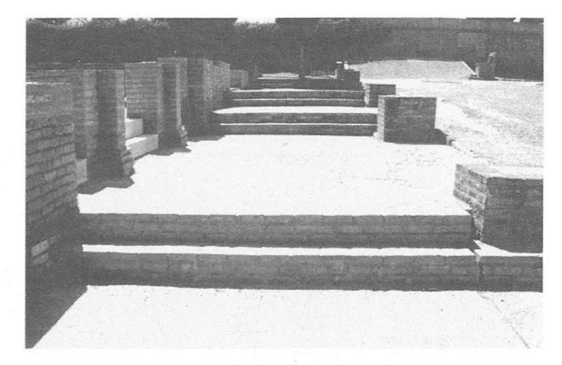


Figura 8
Reconstrucción de parte inferior de porche y comercios de itálica.

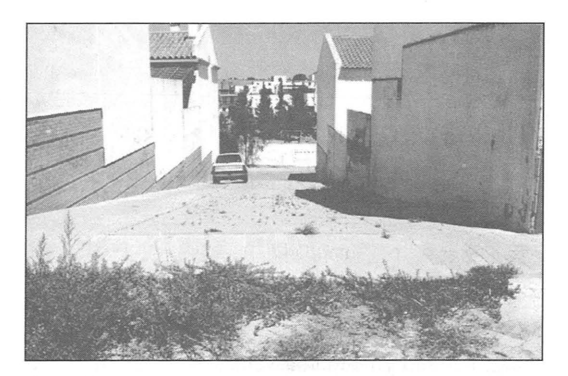


Figura 9
Calle el PP-1.

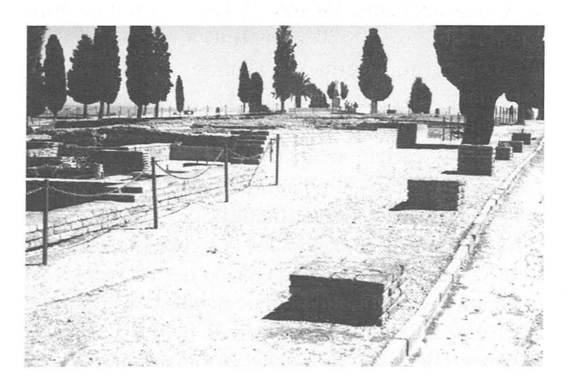


Figura 10
Reconstrucción de parte inferior de porche y vivienda en itálica.



Figura 11
Calle en el PP-1.

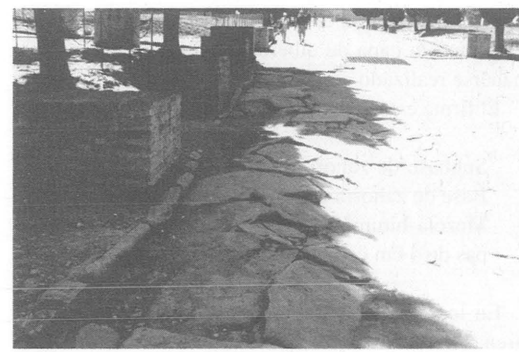


Figura 12
Calzada y acerado en itálica.

Superficie pavimentada

En las viviendas de Itálica, el suelo de las viviendas era de tierra apisonada y encalada, tejado de madera y fibra vegetal. En las viviendas de Itálica la mayor parte del terreno aparece pavimentado, siendo destacables los mosaicos. Estos mosaicos, con las piezas tomadas con morteros de cal producen una ligera estabilización de las arcillas.

Presiones de cimentación

En cuanto a las presiones transmitidas a cimentación, en Itálica podían ser para un edificio tipo de 2 plantas de 50-100 kPa, en general menores que las construcciones recientes del PP-1, que suelen ser de 100-200 kPa.

Acerado

Las aceras de toda la urbanización del PP-1 son permeables, mientras que en Itálica eran impermeables y con suficiente pendiente. En la figura 12 vemos las losas de la calzada y la dimensión del acerado, y en la figura 13 el aspecto de la calzada y acerado del PP-1. Las dimensiones del acerado del PP-1 son sencillamente la mitad de la ciudad romana, lo que nos da idea de la importancia de los peatones para los urbanistas en las diferentes épocas.



Figura 13
Calzada y acerado en el PP-1.

Modificaciones del terreno

En Itálica se aprovecharon las características topográficas adaptando los edificios al terreno: el anfiteatro, en una vaguada entre dos colinas, el teatro, siguiendo la inclinación de una colina, etc. El terreno en el PP-1 ha sido alterado en algunas zonas con objeto de suavizar la topografía. Se ha utilizado la misma arcilla de los desmontes para el terraplenado, lo que ha producido un aumento de la expansividad de los rellenos. Al menos 4 viviendas serán demolidas debido a la ruina estructural.

Zonas ajardinadas

Las zonas ajardinadas del PP-1 contrastan con las escasas de Itálica. En la actualidad es cuando se está

introduciendo la vegetación en las ruinas, no siempre de forma eficaz. Así por ejemplo, en la zona de los porches cubiertos, existen árboles plantados, que aunque desde el punto de vista de expansividad no son peligrosos, siempre alteran las condiciones de humedad del terreno, por lo que se están produciendo en la actualidad movimientos y agrietamiento de las ruinas, por la ausencia de todas las galerías que cubrían los porches (que provocan cambios climáticos y de humedad muy acentuados).

Respecto al tipo de cimentación

En los edificios de la Nova Urbs, las cimentaciones se realizaban sencillamente penetrando los muros en el terreno (zanjas corridas) y ensanchándolos ligeramente en la base. Estos muros estaban construidos utilizando la cal como conglomerante, lo que hace que sean en general construcciones flexibles. En el PP-1 se están utilizando cimentaciones superficiales (pozos y zapatas) y pilotes. Debemos decir que no se está tomando la precaución de aislar las riostras o vigas del terreno (4-5 cm de poliestireno, tipo *porexpan* o similar, se ha demostrado insuficiente). Existe incluso una promoción, cimentada con pilotes, con daños evidentes, al apoyarse el forjado de planta baja parcialmente en el terreno.

Parece que la mejor solución en esta zona, son los pozos al menos a 3,50 metros, y excavar 15 cm bajo las riostras. El *porexpan* y las gravas no funcionan como amortiguadores. También es posible utilizar encofrados degradables.

Una solución que se está recomendando consiste en cubrir con una lámina de polietileno de 1,5 mm de espesor tanto el exterior de la vivienda y, debajo del acerado como sobre la superficie nivelada de la cámara bajo las mismas. Esta lámina deberá ir soldada a la situada bajo el pavimento del patio delantero y bajo garajes.

Conclusiones

Las características urbanísticas de la Nova Urbs se adaptaban bastante a las características climáticas (porches y galerías cubiertas) de la zona. En cambio, el PP-1 parece más bien responder a una urbanización genérica. Pasear por las calles del PP-1 resulta menos apetecible, con las temperaturas superiores a 40 grados en verano, que por toda una ciudad con aceras cubiertas y comercios aledaños.

El simple diseño de las instalaciones de alcantarillado y suministro de agua contrastan. El suministro de agua de Itálica era muy superior al de PP-1, por el diámetro y sección de las tuberías.

Además, el diseño del alcantarillado: en la Nova Urbs, es registrable por una persona y por tanto, de fácil mantenimiento. El del PP-1 no es registrable, y sencillamente las dimensiones son ridículas en comparación con las de la ciudad romana.

Los movimientos producidos por las arcillas expansivas en el PP-1 probablemente arruinarán la urbanización en un plazo inferior a 10 años. Ya existen múltiples zonas donde se aprecian levantamientos y hundimientos espectaculares: muy superiores a los existentes en las ruinas de Itálica, a pesar de que las condiciones de mantenimiento y reurbanización de las mismas son deficientes.

Sólo comentar que no parece haber servido de mucho una experiencia constructiva continuada de más de 2000 años en la zona para proyectar la Santiponce del futuro. Las soluciones constructivas y de urbanización son más deficientes, y de hecho, al menos 4 viviendas del PP-1, van a ser demolidas, sin ni siquiera llegar a habitarse, y 50 están ya con litigios judiciales por daños en las viviendas.

Bibliografía

Adam, J. P: *La construcción romana, materiales y técnicas. Editorial* de los Oficios. León, 1996.

Caballos, A.; Fatuarte, J. M.; Rodríguez Hidalgo, J. M.: *Itálica arqueológica*. Edit. Universidad de Sevilla, 1999.

Informes no publicados sobre viviendas de la parcela 20 y 13.

La recuperación del alero mediterráneo tradicional

Antonio Jiménez Delgado
Leoncio Rodríguez Valenzuela
José Antonio García Aznar
Joaquín Antonio López Davó
Jaime Ferri Cortés
Vicente Raúl Pérez Sánchez
Juan Carlos Pérez Sánchez

Los aleros de cubierta, por su morfología y dimensiones, son un elemento que caracteriza la construcción en determinadas zonas y épocas de nuestra geografía. La localización de este tipo de alero en la zona del Mediterráneo es un hecho interesante de analizar. Recuperar los ejemplares de esta tipología constructiva existentes en las viviendas de finales del siglo XIX y principios del XX en localidades próximas al Mediterráneo es recuperar técnicas artesanales entradas en desuso en nuestros días.

El alero realizado con hiladas de ladrillo cerámico macizo con diversos aparejos da como resultado complejos o sencillos vuelos que se corresponden con la categoría de la edificación. El uso de la cal y del yeso en estos elementos constructivos junto con la utilización del ladrillo macizo cerámico conforma una tipología entrada en desuso, habiendo sido éstos sustituidos por el hormigón o piezas prefabricadas de materiales diversos.

En nuestro recorrido, resulta interesante analizar dos factores esenciales, las formas decorativas que se lograban con su colocación a un tercio de las sucesivas capas y las considerables dimensiones de éstos para, de este modo, proteger la fachada del agua de lluvia, dos factores esenciales. Funcionalidad y estética unidas en un elemento constructivo, especialmente visible en la fachada tradicional.

Partiendo de la casa Rostoll construida en 1870 en Altea y analizando las soluciones constructivas adoptadas en sus aleros, como ejemplo de viviendas cercanas al Mediterráneo hasta nuestros días, consideraremos la evolución y actual situación de tan singulares elementos.

Contexto histórico-constructivo

El objetivo central de este estudio es la tipología de alero tradicional en Altea, tomando como punto de referencia uno de los aleros característicos de la zona, el que se encuentra en la Casa Rostoll de Altea.

Altea se encuentra situada al Norte de la provincia de Alicante en la comarca de la Marina Baixa. Su termino municipal tiene una superficie de 32.63km^2 y limita al Norte con la Sierra de Bernia, al Este con el mar Mediterráneo y al Sur y Oeste con los municipios de Alfaz del Pi, La Nucía y Callosa del Sarriá. Su bahía se extiende entre punta Bombarda y el marro de Toix. Esta geografía montañosa siempre fue un serio obstáculo a las comunicaciones entre las dos Marinas; las calzadas romanas ya seguían camino adentro, así como los caminos medievales, dado que por la costa no existía ningún camino accesible.

En cuanto a su hidrografía, Altea se encuentra regada por las aguas del río Algar que son aguas liberadas de las entrañas de la sierra Bernia en su vertiente meridional.

Las construcciones populares de esta zona están constituidas por un núcleo central agrupado alrededor de una iglesia, evidenciando un sentido utilitario y funcional que nos informa acerca de la forma de vida de sus creadores y usuarios. Por otra parte, su

construcción se encuentra fuertemente ligada a la tradición de la zona, no sólo a las técnicas constructivas, sino también a sus divisiones interiores.

Todas estas características confieren a la zona una construcción particular según el clima, el tipo de suelo, los materiales constructivos de la zona, los conocimientos, su tradición y su forma de vida.

Los tipos de casa que se dan en la provincia y que aparecen en nuestro marco geográfico corresponden a la siguiente clasificación según el tipo de edificios y el número de plantas y según el número de crujías.

Según el tipo de edificios y el número de plantas, existen cuatro tipos:

- Casa alta o *masía*. Es de gran amplitud, planta cuadrangular, con construcciones anexas como cuadras, pocilgas, corrales, etc.
- Casa baja. Tiene planta baja y *cámbra*, con corral y con dependencias adosadas a un lateral.
- Casa baja con *riu –rau*. Tiene planta baja, cambra, corrales y pórtico cubierto.
- Casa con *naia*. Tiene planta baja y *cambra*, con corral, pórtico cubierto, la *naia* siempre adosada a fachada principal y con dependencias adosadas a su parte trasera.

Según el número de crujías cabe distinguir las tres clasificaciones siguientes:

- Casa de una crujía. Son construcciones relativamente sencillas con una o dos alturas.
- Casa de dos crujías. Estas casas, de las cuales existe un gran número dentro de la comarca, presentan planta cuadrada o ligeramente rectangular.
- Casa de tres o más crujías. Esta variante, que no es muy frecuente, consta de planta baja para los caseros, planta alta para los propietarios y la última planta como *cambra* utilizada como almacén y granero.

La casa Rostoll

Considerada la situación geográfica de Altea, analizaremos a continuación la evolución histórica de la casa Rostoll, siendo está una casa señorial.

En 1870 se inició la casa Rostoll, realizándose el cuerpo central y los dos corrales adosados a la casa formando un patio interior. También se construyó, a parte, la nave para establos pero con una sola altura. En los años sucesivos, se fueron anexionando otras construcciones como el aseo exterior, el lavadero; más tarde, en los años cincuenta, se construye la terraza, se aumenta un piso las cuadras y se realiza el resto de construcciones adosadas, resultando el estado actual.

La cubierta

La cubierta de la casa Rostoll es la carácterística de los edificios de Altea. Consiste en una cubierta inclinada a dos aguas y rematada con teja curva. Es característico en ellas el empleo teja curva cerámica en su color natural, pardas y pajizas, además, de elementos complementarios como tejas cumbrera, remates laterales, etc. debido a que en aquella época no se disponía de la variedad de los materiales actual, siendo ésta una solución de buenos resultados.

La estanqueidad se conseguía gracias a dos factores, la pendiente de los faldones, y la disposición de los elementos de cubierta, y de las tejas, que impermeabilizaban y aseguraban la rápida evacuación de agua.

La cubierta de teja curva se realizaba con vigas inclinadas apoyadas en los muros de carga; en un extremo, las viguetas apoyaban sobre éstas, y, en el otro, en el muro de carga. Sobre ésta, los rastreles formaban la estructura portante de la cubierta. Posteriormente, se colocaba el cañizo, unido entre sí mediante soga de esparto y sobre él va la capa de pasta o mortero de cal a modo de capa de compresión.

La teja se coloca con mortero de cal y tierra sobre la base ya preparada, para así impedir el movimiento de las mismas.

Los aleros de cubierta varían de una zona a otra, convirtiéndose en un elemento característico de cada una de ellas. Así, en Altea se da una tipología bastante concreta.

Los aleros se realizan con hiladas de ladrillos macizos con diversos aparejos. Podemos observar que el tipo de aparejo más o menos complejo corresponde a la calidad de la vivienda, siendo más sencillo para edificaciones más modestas.

Los aleros serán de tipo *matacá* o similares (no mayores a 3 cm). Irán perfectamente en hiladas a testa, en esquina y a cara. Su vuelo máximo será 4,5 cm.

Del estudio de los aleros, pone de manifiesto cómo este elemento de construcción tan tradicional sigue estando vigente en nuestros días, muchas veces con variantes industrializadas.

Proceso constructivo

Las cubiertas de las construcciones populares eran principalmente a cuatro aguas y ejecutadas y rematadas con teja curva o con teja plana.

La estructura portante que va a recibir todos los esfuerzos de la cubierta y de los forjados son muros de carga de mampostería, de entre 35 cm y 55 cm. de espesor. Con estos espesores tan grandes solucionaban el problema del aislamiento térmico, regulando así la temperatura; también solucionaban los problemas de aislamiento acústico, ya que los poros y los huecos existentes entre las rocas actuaban como cámara de aire atenuando el sonido.

Estos muros de carga se enlucían de mortero de cal tanto al exterior como al interior. Los muros llegan hasta la cimentación donde van a transmitir todos sus esfuerzos. La cimentación se hacía como si fuera una prolongación del muro de carga, aunque con mayor anchura para un mejor reparto de cargas.

Los forjados son de madera aserrada con viguetas apoyadas en las vigas que a su vez van apoyadas en el muro de carga.

Para la realización de la cubierta inclinada de teja curva se necesitaba una estructura que transmitiera la carga hasta el muro. Esto se realizaba con las viguetas de madera o pares que iban apoyadas en uno de sus extremos en las jácenas de mayor canto que les da la pendiente y en el otro extremo sobre un durmiente perimetral que recogía todas las viguetas para así distribuir y transmitir las cargas al muro. Este durmiente se anclaba bien al muro de carga con unos estribos metálicos para darle estabilidad.

Encima de estas viguetas se colocaban las correas con una separación entre ellas de unos 40 cm. Para que estas correas no [se desplazaran y para darles más estabilidad y resistencia se les colocaba un egión clavado a las viguetas.

Encima de las correas, el cañizo creaba una superficie plana con algo de resistencia para tapar los huecos entre las correas, estando unido el cañizo entre sí mediante soga de esparto. Sobre él, una capa de mortero de cal o de cemento actuaba como de capa de compresión, creando además una superficie plana y estable a fin de colocar las tejas.

Para crear el alero se utilizaba un tipo de ladrillo macizo denominado *matacá*, con unas dimensiones de 21x10x3 cm. Se colocaba una primera hilada de ladrillos volando del frente del forjado como máximo 4.5 cm.

Por ejemplo, el de la Casa Rostoll posee una primera hilada a testa perpendicular al frente del forjado, y una segunda hilada girada volando como máximo 4.5 cm de la anterior, viéndose ésta en forma de triángulo. La tercera hilada es perpendicular a fachada, es decir, igual a la primera hilada. La última es *a testa*, pero colocando ladrillo sólo donde hay cobija para así poder macizarla de mortero, de modo que en la última hilada se verá un desfase.

Con esta forma de construir el alero, se genera suficiente vuelo para proteger la fachada, función específica de éste elemento constructivo. Un mayor vuelo en las hiladas de ladrillo exigirá que tengamos que colocar más hiladas hacia atrás para contrarrestar con ello el momento de vuelco de los ladrillos. Una vez terminado el alero y colocada la primera teja, ésta siempre deberá ir macizada para evitar el posible levantamiento ocasionado por el viento y consecuentemente las goteras.

La infinidad de tipologías de aleros hace que cada casa tenga un toque especial y que se puedan crear nuevas formas por la versatilidad que tiene el ladrillo en su colocación.

Estos tipos de aleros que dan tan buenos resultados siguen estando vigentes en algunas construcciones de hoy en día.

Bibliografía

Gratwick, R.T.: *La humedad en la construcción: sus causas y remedios*. Colección Construcción (Editores Técnicos Asociados). Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1971.

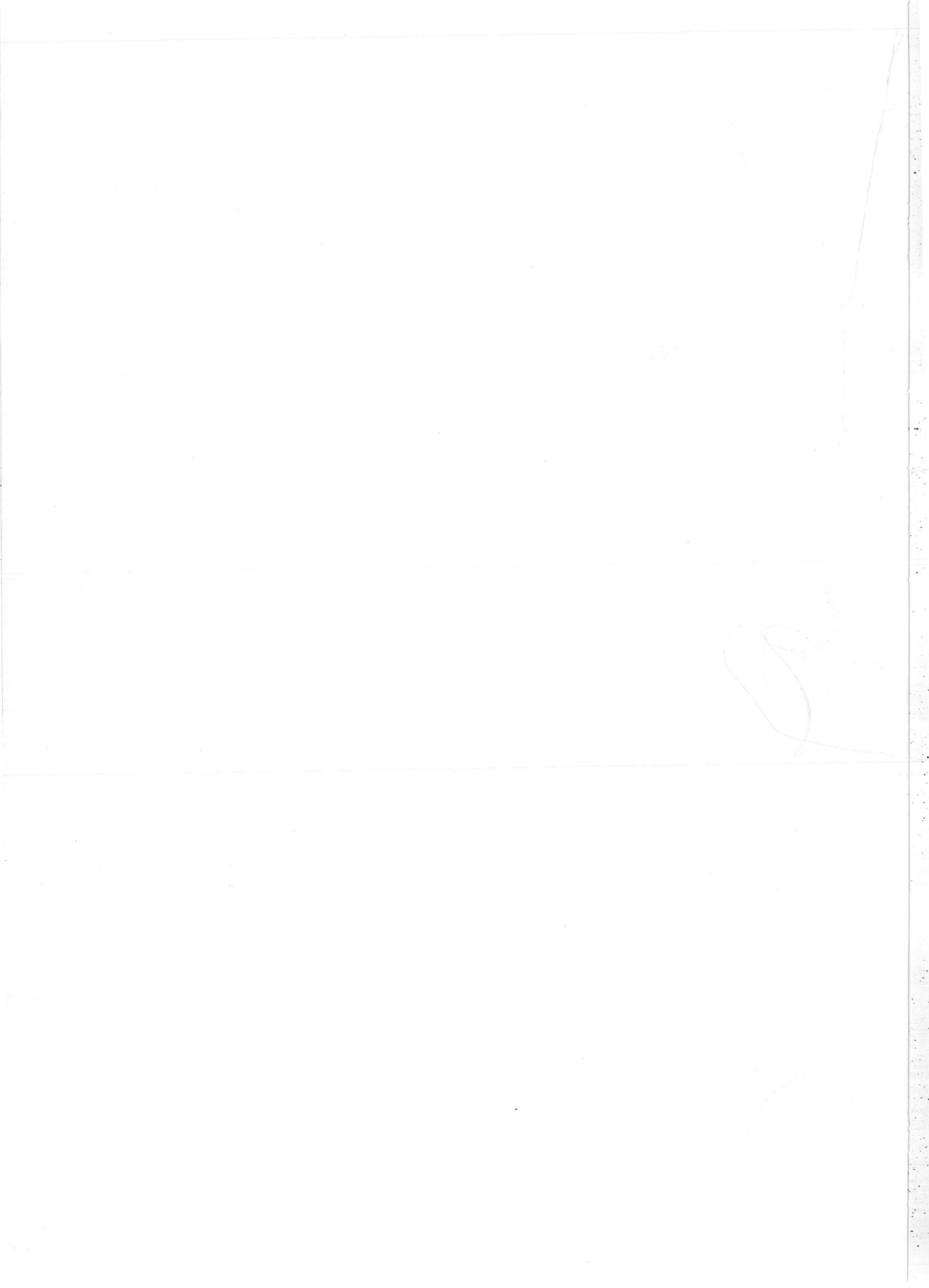
Institut de Tecnología de la Construcció de Catalunya. *Solucions constructives per a la Rehabilitació d'Habitatges d'Alta Muntanya*. Dirección General d'Arquitectura i Habitatges de la Generalitat de Catalunya/Consell General de Cambres Oficials de la Propietat Urbana de Catalunya. Barcelona, 1985.

Pinilla Velasco, Fernando: *Diseño de cerramientos en edificación. Análisis y comportamiento higrotérmico*. Comisión de Asuntos Tecnológicos. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1983.

Puntos, Ricardo: *Tratado Practico de Cubiertas*. Ed. E.T.A., 1982.

Seijó Alonso, F.G.: *Arquitectura Alicantina. La Vivienda Popular*. Ed. Biblioteca Alicantina. Alicante, 1973.

Índice de autores




Ministerio de Fomento


Instituto
Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid


9 788495 365552